



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISA STRUKTUR MIKRO PADA WELD CLADDING SMAW
DENGAN VARIASI HEAT INPUT

MUHAMAD FIRDAUS

NRP. 04311240007002

Dosen Pembimbing

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISA STRUKTUR MIKRO PADA WELD CLADDING SMAW DENGAN VARIASI HEAT INPUT

MUHAMAD FIRDAUS

NRP. 04311240007002

Dosen Pembimbing

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA STRUKTUR MIKRO PADA WELD CLADDING SMAW DENGAN VARIASI HEAT INPUT

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Progran Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMAD FIRDAUS

NRP. 04311240007002

Disetujui oleh:

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing I)
2. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing II)
3. Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D (Penguji I)
4. Dr.Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T (Penguji II)
5. Ir. Imam Rochani, M.Sc (Penguji III)

Surabaya, Januari 2018

ANALISA STRUKTUR MIKRO PADA WELD CLADDING SMAW DENGAN VARIASI HEAT INPUT

Nama : **Muhamad Firdaus**
NRP : **0431 124 000 7002**
Departemen : **Teknik Kelautan FTK - ITS**
Dosen Pembimbing : **Nur Syahroni, S.T., M.T.,Ph.D**
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T.,Ph.D

ABSTRAK

Material *weld overlay* telah digunakan secara luas di dunia industri. Seperti di industri perminyakan, material ini banyak digunakan pada komponen *tubing, casing, valve, pipeline, storage tank, dan pressusre vessel*. Material ini di dalam kondisi operasinya beinteraksi dengan fluida korosif. *Cladding* adalah pelapisan permukaan logam induk dengan logam lain. Kedua logam ini mempunyai paduan logam yang berbeda komposisi, perbedaan ini dikhawatirkan akan menyebabkan perubahan struktur logamnya serta nilai kekerasannya. Perhitungan nilai kekerasan dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh heat input pada weld metal dan base metalnya terhadap sifat mekaniknya.

Metode cladding yang digunakan adalah *weld overlay cladding* dimana pendepositan clad metal nya dilakukan dengan pengelasan SMAW. Variasi yang digunakan adalah 2.24 kJ/mm, 2.96 kJ/mm dan 3.58 kJ/mm. Spesimen yang digunakan adalah sebanyak 6 buah 3 untuk pengujian metalografi serta untuk pengujian kekerasan mikro *vickers* untuk 3 variasi heat input.

Untuk heat input 2.24 kJ/mm diperoleh struktur mikro dengan ukuran butir yang cukup halus, Hasil uji kekerasan rata-rata adalah 187 VHN. Sedangkan untuk *heat input* 2.96 kJ/mm struktur mikro yang dihasilkan ukuran butiran yang lebih kasar dengan kekerasan rata-rata 172 VHN. Dan untuk *heat input* 3.58 kJ/mm diperoleh butiran yang paling kasar dengan kekerasan rata-rata 170 VHN. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa adanya hubungan antara *heat input* , ukuran butiran di logam las dan kekerasan.

Kata Kunci : *Cladding, Heat input, Struktur Mikro, Kekerasan.*

MICRO STRUCTURE ANALYSIS OF WELD CLADDING SMAW WITH HEAT INPUT VARIATION

Name : **Muhamad Firdaus**
NRP : **0431 124 000 7002**
Departement : **Ocean Engineering FTK - ITS**
Supervisor : **Nur Syahroni, S.T., M.T.,Ph.D**
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T.,Ph.D

ABSTRACT

Weld overlay material has found a widely range of application a cross a number of industries. Inpetroleum industries, this material has been utilized on tubing, casing, valve, pipeline, storage tank, pressure vessel components. This material in operating conditions is interacting with corrosive fluid. Cladding is coating the surface of the parent metal with other metals. Both metals have different alloys of composition, this difference is feared will cause changes a metal structure and its hardness value. The calculation of hardness value is done to know how far the influence of heat input on weld metal and base metal to mechanical properties. The cladding method used is weld overlay cladding where a clad metal deposit is done with SMAW welding. The variations used are 2.24 kJ / mm, 2.96 kJ / mm and 3.58 kJ / mm. The specimens used were 6 pieces 3 for metallographic testing and micro hardness testing for 3 variations of heat input.

For heat input 2.24 kJ / mm obtained micro structure with fine grain size, The average hardness test result is 187 VHN. As for the 2.96 kJ / mm heat input the resulting microstructure is a coarser grain size with a mean hardness of 172 VHN. And for heat input 3.58 kJ / mm obtained the most coarse granular with a mean hardness of 170 VHN. From the test results can be concluded that the relationship between heat input, grain size in weld metal and hardness.

Key Words : *Cladding, Heat input, Micro Structure, Hardness.*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warohmatullah Wabarokatuh,

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT karena atas segala rahmat, nikmat, karunia, dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam tidak lupa selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk dalam menjalankan kehidupan didunia ini. Allah memberikan nikmat, karunia, dan hidayahNya melalui perantara. Perantara perantara Allah tersebut antara lain:

1. Bapak Nur Syahroni S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 dan bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo S.T., M.T., Ph.D. yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku ketua jurusan Teknik Kelautan FTK ITS.
3. Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. selaku dosen wali yang selalu membimbing dari awal perkuliahan hingga sekarang.
4. Dua orang terhebat ZAINAL dan SURYATI terima kasih telah melahirkan dan membesarkan dan mendukung perjalanan hidup penulis, serta terima kasih kepada bang Adnan, Kak Azizah, Firman dan Asnan atas kasih sayang yang kalian berikan semoga Allah SWT senantiasa memberikan Rahmat Nya kepada kalian.
5. Sharfina Imana S.M, terima kasih atas kehadiran mu yang selalu memberikan dukungan, dan motivasi.
6. Teman teman VARUNA kalian adalah keluarga saya di kampus ini.
7. Keluarga besar IPMKK Surabaya kalian adalah saudara serantau di Surabaya
Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesai bukan berarti sempurna. Oleh karena itu, kritik maupun saran akan sangat penulis harapkan demi perbaikan atas penelitian ini.

Surabaya, januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Manfaat	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Cladding</i>	3
2.1.1 Pengertian <i>Cladding</i>	3
2.1.2 Aplikasi <i>Weld Overlay</i>	3
2.1.3 Jenis-jenis <i>Cladding</i>	4
2.1.4 Proses pembuatan <i>Cladding</i>	4
2.1.5 <i>Stainless Steel</i>	6
2.1.5.1 <i>Martensitic Stainless Steel</i>	6
2.1.5.2 <i>Austenitic Stainless Steel</i>	7
2.1.5.3 <i>Ferritic Stainless Steel</i>	7
2.1.5.4 <i>Duplex Stainless Steel</i>	8
2.2 Baja Karbon	8
2.2.1 Klasifikasi Baja	8
2.2.1.1 Baja Karbon Murni	9
2.2.1.2 Baja paduan.....	9
2.3 Pengelasan	11

2.3.1 Definisi Pengelasan	11
2.3.2 <i>Shielded Metal Arch Welding</i> (SMAW).....	11
2.3.2.1 Proses SMAW.....	11
2.3.2.2 Keuntungan dan Kelemahan SMAW.....	12
2.4 Metalografi	12
2.4.1 Langkah-langkah Metalografi	13
2.4.2 Manfaat Metalografi.....	16
2.4.3 Diagram Fasa.....	16
2.4.4 Macam-macam Struktur yang Ada Pada Baja.....	17
2.5 Uji Kekerasan.....	18
2.5.1 Pengujian Kekerasan Material dengan Metode <i>Vickers</i>	18
2.5.2 Standar Pengujian <i>Vickers</i>	21
2.5.3 Penulisan Angka Kekerasan <i>Vickers</i>	21
2.5.4 Keuntungan dan Kekurangan Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	22
2.5.5 Kekerasan Mikro <i>Vickers</i>	22
2.6 <i>Heat Input</i>	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>)	24
3.2 Material dan Alat yang Dibutuhkan	25
3.2.1 Material	25
3.2.2 Peralatan	26
3.3 Proses Pengerjaan.....	27
3.3.1 Penyediaan Material	27
3.3.2 Proses Pengelasan	27
3.3.3 Proses Pemotongan Spesimen	29
3.3.4 Persiapan Pengujian Struktur Mikro	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Struktur Mikro.....	33
4.1.1 Hasil Pengamatan Untuk Spesimen dengan Nilai <i>Heat Input</i> 2,24kJ/mm	33
4.1.2 Pengamatan Untuk Material <i>Weld Overlay</i> dengan Nilai <i>Heat Input</i> 2,24 kJ/mm	34
4.1.3 Hasil Pengamatan Untuk <i>Base Metal</i> dengan Nilai <i>Heat Input</i> 2,96 kJ/mm	35

4.1.4 Pengamatan Untuk Material <i>Weld Overlay</i> dengan Nilai <i>Heat Input</i> 2,96 kJ/mm	35
4.1.5 Hasil Pengamatan Untuk Spesimen dengan Nilai <i>Heat Input</i> 3,58 kJ/mm	36
4.1.6 Pengamatan Struktur Mikro Untuk Material <i>Weld Overlay</i> dengan Nilai <i>Heat Input</i> 3,58 kJ/mm.....	38
4.2 Pengujian Kekerasan	39
4.3 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan Mikro.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar alkylation unit pada petroleum refining.....	3
Gambar 2.2	<i>Weld Overlay Cladding Procces</i>	5
Gambar 2.3	Proses pendepositan SMAW	12
Gambar 2.4	Jejak yang dihasilkan oleh penekanan indentor pada benda uji	18
Gambar 2.5	Indentor intan berbentuk piramid	20
Gambar 2.6	Mesin penguji kekerasan	20
Gambar 2.7	Bentuk-bentuk jejak.....	21
Gambar 3.1	<i>Flow chart</i>	25
Gambar 3.2	Elektroda E309 – 3.2mm	26
Gambar 3.3	Mesin las SMAW	26
Gambar 3.4	Pengelasan <i>Cladding</i> SMAW	27
Gambar 3.5	Hasil pengelasan <i>Cladding</i> tampak atas	28
Gambar 3.6	Pemotongan specimen secara manual	29
Gambar 3.7	Spesimen yang telah dipotong	30
Gambar 3.8	Spesimen yang telah dilakukan pengelasan.....	30
Gambar 3.9	Mesin polish yang digunakan	32
Gambar 3.10 (a)	Cairan etsa nital.....	32
Gambar 3.10 (b)	Spesimen yang sudah dietsa.....	32
Gambar 3.11	Mikroskop yang digunakan untuk uji struktur mikro	33
Gambar 4.1	Hasil foto struktur mikro logam induk dengan etsa nital	33
Gambar 4.2	Hasil foto struktur mikro <i>Weld Metal</i> dengan etsa <i>Carpenter</i> <i>300 Series Stainless Steel Etchant</i>	34
Gambar 4.3	Hasil foto struktur mikro logam induk dengan etsa nital	35
Gambar 4.4	Hasil foto struktur mikro <i>Weld Metal</i> dengan etsa <i>Carpenter</i> <i>300 Series Stainless Steel Etchant</i>	36
Gambar 4.5	Hasil foto struktur mikro logam induk dengan etsa nital	37
Gambar 4.6	Hasil foto struktur mikro <i>Weld Metal</i> dengan etsa <i>Carpenter</i> <i>300 Series Stainless Steel Etchant</i>	38
Gambar 4.7	Grafik uji kekerasan mikro <i>Vickers</i> untuk variasi <i>heat input</i> 2.24 kJ/mm	41
Gambar 4.8	Grafik uji kekerasan mikro <i>Vickers</i> untuk variasi <i>heat input</i> 2.96 kJ/mm	42

Gambar 4.9 Grafik uji kekerasan mikro <i>Vickers</i> untuk variasi <i>heat input</i>	
3.58 kJ/mm	42
Gambar 4.10 Grafik hubungan <i>heat input</i> dengan nilai kekerasan	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi baja karbon ASTM A36	10
Tabel 2.2 Komposisi cairan etsa pada baja karbon rendah.....	15
Tabel 2.3 Komposisi cairan etsa untuk <i>Austenitic Stainless Steel</i>	16
Tabel 3.1 Parameter pengelasan pada setiap <i>Heat Input</i>	28
Tabel 4.1 Hasil pengujian untuk specimen dengan nilai <i>heat input</i> 2.24 kJ/mm	39
Tabel 4.2 Hasil pengujian untuk specimen dengan nilai <i>heat input</i> 2.96 kJ/mm	40
Tabel 4.3 Hasil pengujian untuk specimen dengan nilai <i>heat input</i> 3.58 kJ/mm	41
Tabel 4.4 Hubungan <i>heat input</i> terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan.....	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Penggunaan material tahan karat (*corrosion resistance alloys-CRA*) merupakan salah satu cara perlindungan korosi pada sistem produksi minyak dan gas baik itu disektor hulu (*offshore oil and gas production*) maupun sector hilir (oil and gas refinery). Dengan pemilihan material CRA yang tepat, sistem produksi migas dapat menahan mekanisme kerusakan akibat korosi, kebocoran, sehingga setiap komponen dapat mencapai umur pakai yang telah direncanakan. Harga material CRA yang relatif mahal menjadi permasalahan tersendiri didalam proses pemilihan bahan. Seiring perkembangan teknologi, ditemukan suatu metode penggabungan lapisan dua material yang disebut *cladding*, material *clad* adalah material yang terdiri dari dua logam tidak sejenis dimana kedua permukaannya disatukan, sehingga terjadi ikatan metalurgi dengan tujuan mendapatkan ketahanan korosi dan juga kekuatan mekanik yang tinggi. Proses *cladding* terdiri dari bermacam-macam jenis, tergantung dari proses pengerjaannya. Proses tersebut antara lain *roll cladding* (pelapisan permukaan dengan cara di *rolling*), *Cladding by Explosion Welding (EXW)*, *pressbrazed cladding*, *Furnace brace Cladding with Flux or Atmospheres*, dan *Weld Overlay Cladding*. Dari sekian banyak proses *cladding*, yang paling banyak digunakan adalah proses *Weld Overlay Cladding*. Proses *WOC* merupakan proses pelapisan permukaan suatu material dengan pengelasan. *Cladding stainless steels* baja Karbon memiliki kekuatan mekanik yang bagus pada baja dan sifat tahan terhadap korosi pada *stainless steels*.

Kedua material ini memiliki paduan logam yang berbeda komposisi. Perbedaan logam tersebut dikhawatirkan dapat menyebabkan cepat terjadinya perubahan struktur kandungannya. Dalam tugas akhir ini akan dibahas Analisa Struktur Mikro pada *Weld cladding SMAW* dengan variasi *heat input* untuk mengetahui struktur mikro dan nilai kekerasan pada baja karbon dan *stainless steels*.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan data yang didapat maka permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh dari *heat input* terhadap struktur mikro pada stainless steels baja karbon setelah pengelasan *Weld Overlay Cladding*?
2. Bagaimana pengaruh dari *heat input* terhadap nilai kekerasan pada *stainless steels* baja-karbon setelah proses pengelasan *Weld Overlay Cladding*?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan penulisan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui struktur mikro dari pengaruh heat input untuk material *stainless steel*-baja karbon pada proses *Weld Overlay Cladding*.
2. Mengetahui pengaruh *heat input* terhadap nilai kekerasan untuk material *stainless steels*-baja karbon pada proses *Weld Overlay Cladding*.

1.4. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini, diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengaruh *heat input* terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan pada *cladding stainless steel*-baja karbon.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah agar proses penulisan lebih terarah, sebagai berikut:

1. Base metal adalah baja carbon ASTM A36.
2. Proses pengelasan menggunakan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW).
3. Kawat las yang digunakan untuk mendeposit *stainless steels* E309-16 yang berukuran 3.2 mm.
4. Variasi *heat input* pada pengelasan adalah 2.24 kJ/mm, 2.98 kJ/mm, 3.56 kJ/mm.
5. Cairan etsa yang digunakan ialah etsa *Nital* untuk baja karbon serta *Carpenter 300 Carpenter 300 Series Stainless Steel Etchant*.
6. Ukuran ketebalan *cladding* 3 mm.
7. Pengujian kekerasan menggunakan metode Mikro *Vickers*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Cladding*

2.1.1 *Pengertian Cladding*

Pengertian *cladding* adalah dua lapisan logam atau lebih berikat bersama-sama untuk menggabungkan sifat karakteristik dari masing-masing dalam bentuk komposit. Baja lapisan tembaga (*cooper-clad*) misalnya digunakan untuk menggabungkan karakteristik listrik dan termal tembaga dengan kekuatan baja. Berbagai macam variasi logam dan paduan logam dapat dikombinasikan dalam dua lapisan atau lebih, dan tersedia dalam dan dalam berbagai bentuk, termasuk lembaran, strip, pelat, pipa, kawat, dan paku keeling untuk produk listrik dan elektronik, dan peralatan proses kimia [Brady et al,2002].

2.1.2 *Aplikasi Weld Overlay*

Weld overlay cladding banyak digunakan didalam industri *oil & gas* terutama dalam hal penanganan masalah korosi, adapun pengaplikasian *weld overlay* di industri perminyakan, material ini banyak digunakan pada komponentubing, *casing*, *valve*, *pipeline*, *storage tank*, dan *pressusre vessel* dan *Petroleum Refining*. Seperti diperlihatkan di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gambar *alkylation* unit pada *petroleum refining*

Sumber: <http://www.voestalpine.com/products>

Secara penggunaan *weld overlay*, rata-rata unit unit diatas menggunakan teknologi *weld overlay cladding* baik di *Fractinator*, *alkaltyion unit* serta *Acid Storage*. Sehingga teknologi *weld overlay* merupakan hal yang termasuk vital didalam industry oil dan gas.

2.1.3 Jenis-jenis *Cladding*

Jenis-jenis *cladding* lain sebagai berikut [Brady *et al.*, 2002]:

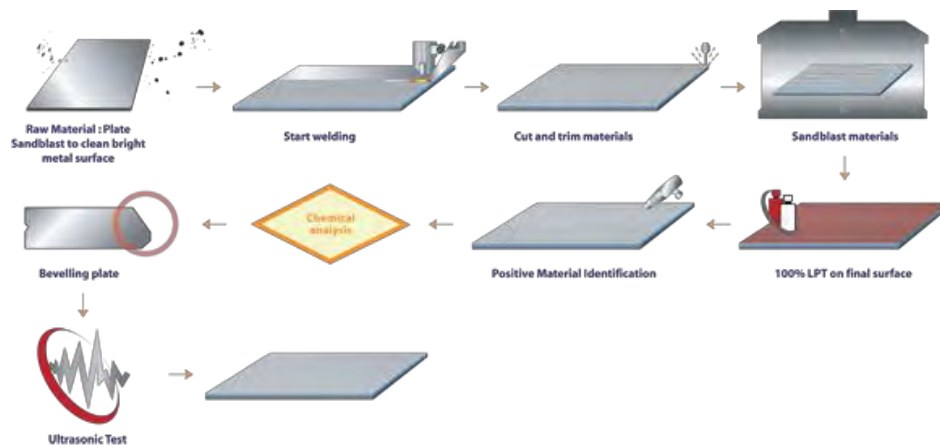
- *Pluramelt*, dari pabrikan *Allegheny Ludlum steel Corp* adalah gabungan antara baja dengan berbagai jenis *stainless stell* yang digabungkan pada kedalaman 20% dengan proses *intermelting*.
- *Ingaclad*, terdiri dari *stainless steels* yang digabungkan dengan plat baja karbon.
- *Silver-Ply*, adalah *Stainlees steel-clad steel* dengan tebal 10% atau 20% dari tebal plat, dikombinasikan dengan *mild-steel backing* dengan proses *hot rolling*.
- *Silver-clad steel*, digunakan pada bantalan dan reflektor di *roll* antara perak murni dengan baja *billet*.
- *Silver-clad sheet* dengan perak dirol pada baja *nonferrous* yang lebih murah, digunakan pada peralatan makanan tahan terhadap asam organik tetapi tidak menimbulkan kandungan sulfur.

Dan masih banyak lagi nama-nama *cladding* yang ada seperti *permatical* dan *titanium-clad steel*.

2.1.4 Proses Pembuatan *Cladding*

Berdasarkan buku material handbook Fifteenth Edition [Brady *et al.*,2002], secara garis besar proses pembuatan *cladding* ada tiga macam yaitu *Weld Overlay*, *Hot Roll Cladding* dan *Explosion Bonding*.

- *Weld Overlay*: merupakan dengan mendepositkan kawat las (*cladding*) secara merata terhadap material utama (*base metal*). *Weld overlay* yang yang sering digunakan dilapangan adalah *electroslag strip cladding* (ESSC). Proses pengelasannya berupa *Submerged Arc Welding* (SAW) kawat las berupa *Strip*. Seperti diperlihatkan di Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Weld Overlay Cladding Procces*

Sumber: <http://www.canadoil.com/Products-Services4>

- *Hot Roll Cladding*: pembuatan cladding dibuat dengan cara menggabungkan dua atau lebih jenis material dengan proses *hot roll bonding* dengan kondisi suhu dan tekanan yang tinggi. Keunggulan *hot roll bonding* bila dibandingkan dengan *weld overlay*:

- Tidak terjadi penipisan pada base metal
- Kualitas permukaan lebih baik
- Komposisi kimia yang homogen/merata

Sedangkan bila dibandingkan dengan *explosive bonding*, material *cladding hot roll bonding* memiliki keunggulan sebagai berikut:

- Kualitas penggabungan yang lebih kuat
- Pengurangan dari panjang pengelasan dikarenakan ukurannya lebih besar
- Penggunaan material dengan cladding yang lebih tipis lebih baik digunakan explosive bonding [www.voestalpine.com, 2011].

- *Explosion Bonding*: Gabungan kombinasi dari berbagai jenis baja atau paduannya dimana penggabungannya menggunakan detonator sebagai bahan peledaknya. Proses peledakan yang dikontrol pada lapisan yang diledakan diatas pelat yang di cladding menghasilkan tumbukan dengan tekanan tinggi pada material. Kondisi peledakan itu membuat penggabungan secara metalurgi antara cladding dan pelat base metal [www.dynamicsmaterial.com, 2011].

2.1.5 *Stainless Steel*

Disebut sebagai baja tahan karat (*stainless steel*) karena jenis baja ini tahan terhadap pengaruh oksigen dan memiliki lapisan oksida yang yang stabil pada permukaan baja. *Stainless steel* bisa bertahan dari pengaruh oksidasi karena mengandung unsur *chromium* lebih dari 10,5%, unsur chromium ini yang merupakan pelindung utama baja dalam stainless steel terhadap gejala yang di sebabkan kondisi lingkungan.

2.1.5.1 *Martensitic Stainless Steel*

Martensitic stainless steel merupakan baja tahan karat yang dikembangkan untuk memiliki ketahanan terhadap korosi dan dapat mengalami pengerasan dengan cara perlakuan panas dan bersifat magnetic. Baja tahan karat tipe ini mengandung 12-20 % kromium, ditentukan banyaknya karbon dan zat *addictive* lainnya.

Baja tahan karat tipe *martensitic* dapat dieraskan dengan heta treatment yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dari 80.000 psi menjadi 200.000 psi. Tingkat kekerasan yang tinggi dapat tercapai dengan perlakuan panas. Pada baja karat tipe ini dilakukan penambahan karbon pada campuran ion-cromium agar memperoleh paduan yang dapat mengalami perubahan dengan pemanasan dan pendinginan cepat [Schweitzer, 1989].

Renge suhu pengerasan bergantung pada komposisi, tetapi secara umum tingginya suhu *quenching* akan meningkatkan kekerasan. Penggunaan *oil quenching* lebih baik, tetapi dengan bentuk yang tipis dan berlekuk, pengerasan dengan pendinginan diudara diperlukan [Schweitzer, 1989].

Pada suhu 450° C tidak terjadi pengurangan kekerasan pada daerah tersebut, dan pada kondisi ini *martensitic stainless steel* menunjukkan ketahanan yang luar biasa terhadap fruit dan *vegetable acid*, larutan alkali, amoniak dan larutan korosif lainnya [Schweitzer, 1989].

2.1.5.2 Austenitic Stainless Steel

Austenitic stainless steel adalah baja paduan yang mengandung kromium dan nikel. Biasanya digunakan pada peralatan-peralatan stainless dan tidak memiliki sifat magnet. Kebanyakan kandungan paduan-paduan baja tahan karat austenitic adalah besi-kromium-nikel, karena kandungan kromium dan nikel baja tahan karat tipe austenitic tinggi maka baja tahan karat ini termasuk golongan *stainless steel* yang memiliki ketahanan korosi. Baja tahan karat *austenitic* tidak dapat dikeraskan dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) tetapi dapat dikeraskan dengan system pekerjaan dingin (*cold working*) [Roberge, 2000].

Persentase kandungan terdiri dari komposisi 16-26% Cr, minimum 6-22% Ni dan kandungan karbon kurang dari 0.08% sehingga mengurangi terjadinya karbida prastripasi. Kebanyakan komposisinya terdiri dari 18 Cr dan 8 Ni. Pada kondisi laju pendinginan yang perlahan, harga kekuatan Tarik mendekati 85.000 psi. Baja tahan karat austenitic tidak dapat dikeraskan dengan pengerjaan panas (*heat treatment*) tetapi dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin (*cool working*) [Roberge, 2000].

Baja tahan karat austenitik sangat baik dikerjakan pada kondisi dibawah oksidasi Karena ketahanan terhadap korosi tetap terjaga pada lapisan zat asam yang berbeda pada permukaan paduan. Penurunan kondisi dan ion klorida merusak lapisan ini dan menyebabkan laju korosi meningkat. Ion-ion klorida digabungkan dengan *high tensile stress*, menyebabkan *corrosioncracking* [Schweitzer, 1989].

2.1.5.3 Ferritic Stainless Steel

Ferritic stainless steel mengandung 15-30% kromium dengan kandungan karbon rendah (0.1%). Baja tahan karat tipe ini berbeda dengan tipe martensitic, baja tahan karat ferritik tidak dapat dikeraskan dengan cara *heat treatment*. Kondisi tersebut terjadi karena komposisi dari baja tahan karat tipe ini dibuat agar memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi dan oksidasi serta diperuntukan untuk temperatur tinggi [Schweitzer, 1989].

Ferritic stainless steel memiliki ketahanan korosi yang lebih baik jika dibandingkan dengan martensitic stainless steel tetapi lebih rendah jika

dibandingkan dengan *austenitic steel*, walaupun baja tahan karat *ferritic* tidak secara nyata menurunkan asam seperti HCL.

2.1.5.4 Duplex Stainless Steel

Duplex stainless steel merupakan yang mikro strukturnya terdiri dari campuran *aunstenic* dan *ferrit*. Paduan ini dikembangkan untuk meningkatkan ketahanan korosi *austenitic stainless steel*, khususnya pada daerah retak akibat tegangan korosi klorida dan pemeliharaan ketahanan korosi setelah pengelasan [Schweitzer, 1989].

Awalnya *duplex stainless steel* tidak memiliki tambahan kandungan nitrogen khusus sebagai unsur paduan. Dengan penambahan 0.15% sampai 0.251% nitrogen terhadap pengurangan pemisah chromium antara dua fase, sehingga ketahanan *pitting corrosion* pada *austenite* meningkat. Penambahan nitrogen juga meningkatkan kemampuan las stainless steel tanpa mengurangi ketahanan korosinya. Hal tersebut memerlukan panas setelah pengelasan [Schweitzer, 1989].

2.2 Baja Karbon

2.2.1 Klasifikasi Baja

Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon 0,2% -2,1% (Choudhury *et al.*, 2001). Selain itu juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya. Namun unsur-unsur ini hanya dalam presentase kecil. Sifat baja karbon dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Sedangkan struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan campuran unsur lain dalam baja dapat meningkatkan nilai kekerasan, tahan gores dan tahan suhu. Unsur paduan utama baja adalah karbon, dengan ini baja dapat digolongkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi (Amanto, 1999).

2.2.1.1 Baja Karbon Murni

Baja karbon tersusun dari unsur besi dan karbon. Karbon merupakan pengeras besi yang efektif dan murah, oleh karena itu umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Baja karbon ini digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3% C. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit.

2. Baja karbon sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon 0,3%C-0,6%C. Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6%C-1,5%C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit, sehingga membuat baja menjadi getas (Amanto, 1999).

2.2.1.2 Baja Paduan

Baja paduan dihasilkan dengan biaya lebih mahal dari baja karbon lainnya, Karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerasan khusus yang dilakukan dalam industri atau pabrik. Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan, dan wolfram, yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki [Amanto, 1999].

Baja paduan diklasifikasikan menurut kadar paduannya dibagi menjadi:

- Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

- **Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)**
Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.
- **Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)**
Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999).

ASTM A36 adalah baja karbon yang paling banyak diaplikasikan pada kapal, *oil rig*, baja ini memiliki sifat yang mudah dilas pada berbagai macam tipe pengelasan (*excellent weldability*) dan mudah dalam pengerjaan fabrikasi seperti *grinding*, *punching*, *tapping*, *drilling*, dan proses permesinan. Baja ini juga memiliki sifat yang *ductile*, sehingga tahan terhadap penjarangan retak. Tabel 2.1 adalah komposisi dari baja karbon ASTM A36.

Tabel 2.1 Komposisi baja karbon ASTM A36

<i>Element</i>	<i>Content</i>
<i>Carbon, C</i>	<i>0.25 - 0.290 %</i>
<i>Copper, Cu</i>	<i>0.20 %</i>
<i>Iron, Fe</i>	<i>98.0 %</i>
<i>Manganese, Mn</i>	<i>1.03 %</i>
<i>Phosphorous, P</i>	<i>0.040 %</i>
<i>Silicon, Si</i>	<i>0.280 %</i>
<i>Sulfur, S</i>	<i>0.050 %</i>

<i>Physical Properties</i>		
<i>Physical Properties</i>	<i>Metric</i>	<i>Imperial</i>
<i>Density</i>	<i>7.85 g/cm³</i>	<i>0.284 lb/in³</i>

2.3 Pengelasan

2.3.1 Definisi Pengelasan

Secara sederhana dapat diartikan bahwa pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam baik menggunakan bahan tambah maupun tidak dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas.

Sedangkan pengertian pengelasan menurut Widharto (2003) adalah salah satu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair.

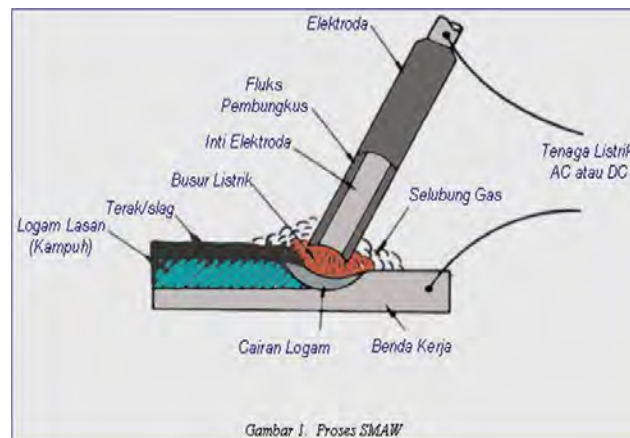
Pengelasan adalah penyambungan dua buah logam menjadi satu dilakukan dengan jalan pemanasan atau pelumeran, dimana kedua ujung logam yang akan disambung di buat lumer atau dilelehkan dengan busur nyala atau panas yang didapat dari busur nyala listrik (gas pembakar) sehingga kedua ujung atau bidang logam merupakan bidang masa yang kuat dan tidak mudah dipisahkan (Arifin, 1997).

2.3.2 *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

SMAW adalah las busur listrik, proses las manual dimana busur dibentuk antara fluks yang membungkus elektroda dengan benda kerja. Proses ini menggunakan dekomposisi dari fluks untuk membentuk gas pelindung (*Shielding gas*) dan untuk melindungi cairan las [ASM Metal Handbook vol. 6, 1993].

2.3.2.1 Proses SMAW

Busur diawali dengan mengetukan atau mengesekan elektroda ke benda kerja (base metal). Busur akan melelehkan base metal dan elektroda secara bersamaan. Lelehan elektroda akan melewati busur menuju *base metal*, dan terjadilah pendepositan las yang terlindungi oleh *slag* dari pembungkus elektroda [ASM Metal Handbook vol. 6, 1993]. Seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses pendepositan SMAW

2.3.2.2 Keuntungan dan Kelemahan SMAW

Proses SMAW adalah tipe pengelasan yang paling banyak digunakan daripada proses lainnya. Proses ini merupakan proses yang paling sederhana dalam peralatan, namun mungkin yang tersulit dalam hal operasional karena tukang las harus berpengalaman. Perlengkapannya tergolong sederhana dan elektrodanya mudah ditemukan di pasaran, dan hampir semua aplikasi dalam manufaktur, konstruksi, dan perawatan. SMAW mempunyai fleksibilitas untuk semua posisi pengelasan (*flat, horizontal, vertical, dan overhead*), dengan ketebalan base metal minimum 1.6 mm dan ketebalan maksimum yang tak terbatas [ASM Metal Handbook vol. 6, 1993].

Karena pada dasarnya SMAW adalah proses manual, skill dari tukang las adalah yang paling utama. namun *duty cycle* pada proses ini relatif rendah, karena tukang las harus sering melepas elektroda yang akan habis dengan yang baru, menghilangkan *slag*, membersihkan dengan sikat besi. Hal tersebut dapat mengurangi efisiensi pekerjaan hingga 25% [ASM Metal Handbook vol. 6, 1993].

2.4 Metalografi

Metalografi adalah suatu teknik atau metode persiapan material untuk mengukur, baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang terdapat dalam material yang dapat diamati, seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya.

Pada metalografi, secara umum yang akan diamati adalah dua hal yaitu:

- a. Struktur makro adalah struktur dari logam yang terlihat secara makro pada permukaan yang dietsa dari spesimen yang telah dipoles.
- b. Struktur mikro adalah struktur dari sebuah permukaan logam yang telah disiapkan secara khusus yang terlihat dengan menggunakan perbesaran minimum 25x.

2.4.1 Langkah-Langkah Metalografi

Adapun secara garis besar langkah-langkah yang harus dilakukan pada metalografi adalah:

- a. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses Pemotongan merupakan pemindahan material dari sampel yang besar menjadi spesimen dengan ukuran yang kecil. Pemotongan yang salah akan mengakibatkan struktur mikro yang tidak sebenarnya karena telah mengalami perubahan.

Kerusakan pada material pada saat proses pemotongan tergantung pada material yang dipotong, alat yang digunakan untuk memotong, kecepatan potong dan kecepatan makan. Pada beberapa spesimen, kerusakan yang ditimbulkan tidak terlalu banyak dan dapat dibuang pada saat pengamplasan dan pemolesan.

- b. Pembungkai (Mounting)

Pembungkai seringkali diperlukan pada persiapan spesimen metalografi, meskipun pada beberapa spesimen dengan ukuran yang agak besar, hal ini tidaklah mutlak. Akan tetapi untuk bentuk yang kecil atau tidak beraturan sebaiknya dibungkai untuk memudahkan dalam memegang spesimen pada proses pengamplasan dan pemolesan.

Sebelum melakukan pembungkai, pembersihan spesimen haruslah dilakukan dan dibatasi hanya dengan perlakuan yang sederhana detail yang ingin kita lihat tidak hilang. Sebuah perbedaan akan tampak antara bentuk permukaan fisik dan kimia yang bersih. Kebersihan fisik secara tidak langsung bebas dari kotoran padat, minyak pelumas dan kotoran lainnya, sedangkan kebersihan kimia bebas dari segala macam kontaminasi. Pembersihan ini bertujuan agar hasil pembungkai tidak retak atau pecah akibat pengaruh kotoran yang ada.

Dalam pemilihan material untuk pembungkai, yang perlu diperhatikan adalah perlindungan dan pemeliharaan terhadap spesimen. Bingkai haruslah memiliki kekerasan yang cukup, meskipun kekerasan bukan merupakan suatu indikasi, dari karakteristik abrasif. Material bingkai juga harus tahan terhadap distorsi fisik yang disebabkan oleh panas selama pengamplasan, selain itu juga harus dapat melakukan penetrasi ke dalam lubang yang kecil dan bentuk permukaan yang tidak beraturan.

c. Pengerindaan, Pengamplasan, dan Pemolesan

Pada proses ini dilakukan penggunaan partikel abrasif tertentu yang berperan sebagai alat pemotongan secara berulang-ulang. Pada beberapa proses, partikel-partikel tersebut disatukan sehingga berbentuk blok dimana permukaan yang ditonjolkan adalah permukaan kerja. Partikel itu dilengkapi dengan partikel abrasif yang menonjol untuk membentuk titik tajam yang sangat banyak.

Perbedaan antara pengerindaan dan pengamplasan terletak pada batasan kecepatan dari kedua cara tersebut. Pengerindaan adalah suatu proses yang memerlukan pergerakan permukaan abrasif yang sangat cepat, sehingga menyebabkan timbulnya panas pada permukaan spesimen. Sedangkan pengamplasan adalah proses untuk mereduksi suatu permukaan dengan pergerakan permukaan abrasif yang bergerak relatif lambat sehingga panas yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.

d. Pengetsaan (*Etching*)

Pengetsaan dilakukan dalam proses metalografi adalah untuk melihat struktur mikro dari sebuah spesimen dengan menggunakan mikroskop optik. Spesimen yang cocok untuk proses etsa harus mencakup daerah yang dipoles dengan hati-hati, yang bebas dari deformasi plastis karena deformasi plastis akan mengubah struktur mikro dari spesimen tersebut.

Proses etsa untuk mendapatkan kontras dapat di klasifikasikan dibawah ini:

a. Etsa tidak merusak

Etsa tidak merusak terdiri atas etsa optik dan perantaraan kontras dari struktur dengan pencampuran permukaan secara fisik terkumpul pada

permukaan spesimen yang telah dipoles. Pada etsa optik digunakan teknik pencahayaan khusus untuk menampilkan struktur mikro. Beberapa metode etsa optik adalah pencahayaan gelap (*dark field illumination*), polarisasi cahaya mikroskop (*polarized light microscopy*) dan *differential interference contrast*.

b. Etsa merusak

Etsa merusak adalah proses perusakan permukaan spesimen secara kimia agar terlihat kontras atau perbedaan intensitas dipermukaan spesimen. Etsa merusak terbagi dua metode yaitu:

- *Physical Etching*

Pada etsa elektrokimia dapat diasumsikan korosi terpaksa, dimana terjadi reaksi serah terima elektron akibat adanya beda potensial daerah katoda dan anoda. Beberapa proses yang termasuk etsa elektrokimia adalah etsa endapan (*precipitation etching*), metode pewarnaan panas (*heat tinting*), etsa kimia (*chemical etching*) dan etsa elektrolit (*electrolytic etching*).

- Etsa fisik

Pada etsa fisik dihasilkan permukaan yang bebas dari sisa zat kimia dan menawarkan keuntungan jika etsa elektrokimia sulit dilakukan. Etsa ion dan etsa termal adalah teknik etsa fisik yang mengubah morfologi permukaan spesimen yang telah dipoles. Seperti diperlihatkan pada tabel 2.2 & Tabel 2.3.

Tabel. 2.2 Komposisi cairan etsa pada baja karbon rendah

Etchant	Conc.	Conditions	Comments
<i>Picral</i> Ethanol Picric acid	100 ml 2-4 grams	Second to minutes	For Heat treated steels Do not let etchant dry-explosive
Ethanol Nitric acid Hydrochloric acid Picric acid	80 ml 10 ml 10 ml 1 gram	Second to minutes	Grain Boundaries
<i>Nital</i> Ethanol Nitric acid	100 ml 1-10 ml	Second to minutes	Do not exceed 10 % nitric acid-explosive

Tabel. 2.3 Komposisi cairan etsa untuk *Austenitic stainless steel*

Etchant	Conc.	Conditions	Comments
<i>Adlers 300 Series Stainless Steel Etchant</i> Ferric chloride Copper ammonium chloride Hydrochloric acid Distilled water	45 grams 9 grams 150 ml 75 ml	Immerse for several seconds.	A very effective etchant for 300 series, austenitic, duplex stainless steels
<i>Carpenter 300 Series Stainless Steel Etchant</i> Ferric chloride Cupric chloride Alcohol Hydrochloric acid Nitric acid	8.5 grams 2.4 grams 122 ml 122 ml 6 ml	Immerse for several seconds.	A nice etchant for 300 series, austenitic, duplex stainless steels
<i>Kalling' No. 2</i> Cupric chloride Hydrochloric acid Alcohol	12 grams 20 ml 225 ml	Immerse or swab - seconds to minutes	For 400 series or martensitic stainless steel

2.4.2 Manfaat Metalografi

Adapun beberapa manfaat utama dari proses metalografi adalah sebagai berikut

- Mengamati perubahan struktur mikro akibat proses yang dilakukan ditujukan terutama untuk pengontrolan kualitas komponen.
- Menganalisis perubahan struktur mikro, dimensi cacat, penjararan retak dan menghubungkannya dengan prediksi kerusakan komponen.

2.4.3 Diagram Fasa

Diagram fasa adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperature dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi operasi perlakuan panas.

Fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas baik proses anil, *normalizing* maupun proses pengerasan. Baja adalah paduan besi dengan karbon maksimal sampai sekitar 1,7%, paduan besi diatas 1,7% disebut *cast iron*.

Perlakuan panas bertujuan untuk memperoleh struktur mikro dan sifat yang diinginkan. Struktur mikro dan sifat yang diinginkan dapat diperoleh melalui proses pemanasan dan proses pendinginan pada temperatur tertentu.

2.4.4 Macam-macam Struktur yang Ada Pada Baja

a. Ferit

Ferit adalah larutan padat karbon dan unsur paduan lainnya pada besi kubus pusat badan (Fe). Ferit terbentuk akibat proses pendinginan yang lambat dari austenit baja hypotektoid pada saat mencapai A₃. Ferit bersifat sangat lunak ulet dan memiliki kekerasan sekitar 70 - 100 BHN dan memiliki konduktifitas yang tinggi.

b. Sementit

Sementit adalah senyawa besi dengan karbon yang umum dikenal sebagai karbida besi dengan prosentase karbon 6,67% C yang bersifat keras sekitar 5 – 68 HRC.

c. Perlit

Perlit adalah campuran sementit dan ferit yang memiliki kekerasan sekitar 10-30 HRC. Perlit yang terbentuk sedikit dibawah temperatur eutektoid memiliki kekerasan yang lebih rendah dan memerlukan waktu inkubasi yang lebih banyak.

d. Bainit

Bainit merupakan fasa yang kurang stabil yang diperoleh dari austenit pada temperatur yang lebih rendah dari temperature transformasi ke perlit dan lebih tinggi dari transformasi ke martensit.

e. Martensit

Martensit merupakan larutan padat dari karbon yang lewat jenuh pada besi alfa sehingga latis-latis sel satunya terdistorsi. Karbon adalah unsur penyetabil austenit. Kelarutan maksimum dari karbon pada austenit adalah sekitar 1,7% (E) pada 1140 0C, Sedangkan kelarutan karbon pada ferit naik dari 0% pada 910 0C menjadi 0,025% pada 723 0C.

Pada pendinginan lanjut, kelarutan karbon pada ferrit menurun menjadi 0,08% pada temperatur kamar. Kegunaan dari baja tergantung dari sifat-sifatnya yang sangat bervariasi yang diperoleh melalui pemaduan dan penerapan proses perlakuan panas. Sifat mekanik dari baja sangat tergantung pada struktur

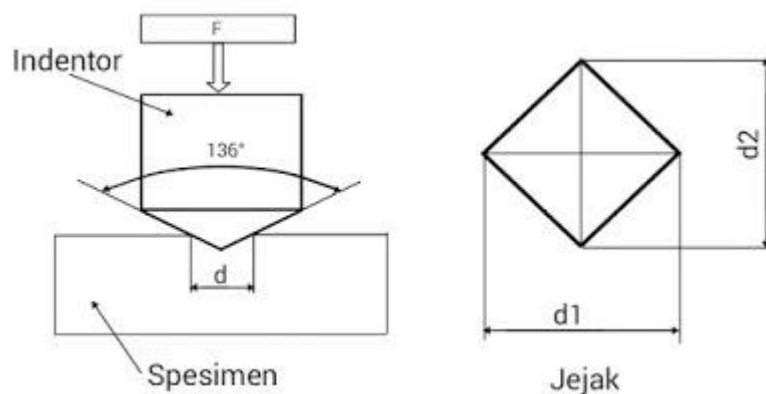
mikronya, sedangkan struktur mikro sangat mudah diubah melalui proses perlakuan panas.

Beberapa jenis baja memiliki sifat-sifat yang tertentu sebagai akibat penambahan unsur paduan. Salah satu unsur paduan yang sangat penting yang dapat mengontrol sifat baja adalah karbon (C). Jika besi dipadu dengan karbon, transformasi yang terjadi pada rentang temperatur tertentu erat kaitanya dengan kandungan karbon. Berdasarkan pepaduan antara besi dan karbon, karbon di dalam besi dapat berbentuk larutan atau berkombinasi dengan besi membentuk karbida besi (Fe_3C).

2.5 Uji Kekerasan

2.5.1 Pengujian Kekerasan Material dengan Metode *Vickers*

Metode pengujian kekerasan Vickers dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136° . Penekanan oleh indentor akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji. Seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Jejak yang dihasilkan oleh penekanan indentor pada benda uji

Untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji, maka diagonal rata-rata dari jejak tersebut harus diukur terlebih dahulu dengan memakai mikroskop.

Angka kekerasan *Vickers* dapat diperoleh dengan membagi besar beban uji yang digunakan dengan luas permukaan jejak.

$$HV = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$A = 4 \times \frac{1}{2} d \sqrt{2} \times \frac{1}{2} \left(\frac{d \sqrt{2}}{4 \sin \frac{\alpha}{2}} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A = \frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

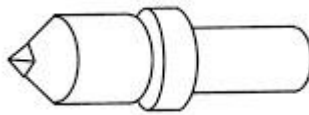
Jadi angka kekerasan Vickers dapat diperoleh dengan rumus

$$HV = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Rentang beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan Vickers berkisar antara 1 kgf sampaj 120 kgf, dan beban uji yang umum digunakan adalah 5, 10, 30 dan 50 kgf. Sedangkan waktu penerapan beban uji (dwell time) standar biasanya dilaksanakan selama 10 -15 detik.

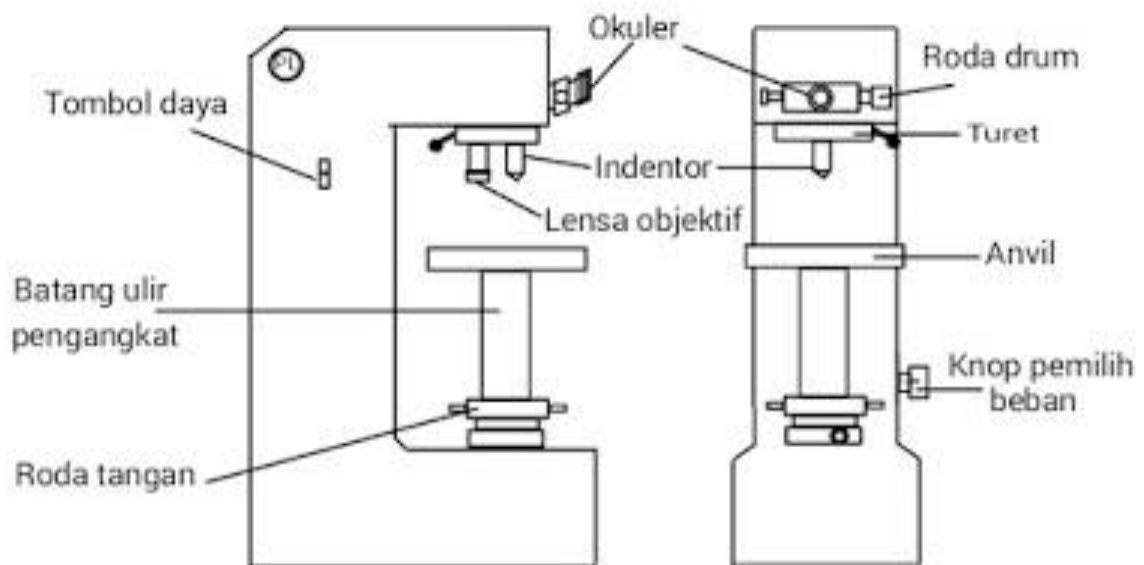
Di dalam pengujian kekerasan Vickers perlu diperhatikan mengenai jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir spesimen, di mana menurut standar ASTM adalah sebesar 2,5 kali diagonal jejak. Dan jarak minimal antara jejak-jejak yang berdekatan juga 2,5 kali diagonal jejak. Sedangkan menurut standar ISO, jarak minimal dari titik pusat jejak ke bagian pinggir benda uji adalah 2,5 d untuk baja dan paduan tembaga dan 3 d untuk logam-logam ringan, sementara jarak minimal antara jejak adalah 3 d untuk baja dan paduan tembaga, dan 6 d untuk logam-logam ringan. Untuk indetor yang digunakan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Indentor intan berbentuk piramid

Berbeda dengan pengujian kekerasan Brinell dan pengujian kekerasan Rockwell yang menggunakan lebih dari satu jenis atau ukuran indentor, pengujian kekerasan Vickers hanya menggunakan satu jenis indentor, yaitu indentor intan berbentuk piramid yang dapat digunakan untuk menguji hampir semua jenis logam mulai dari yang lunak hingga yang keras.

beberapa jenis mesin yang digunakan untuk melaksanakan pengujian kekerasan Vickers, seperti mesin Vickers dengan tenaga hidrolik, mesin Vickers mekanis, mesin Vickers digital, mesin Vickers semi otomatis, dan mesin Vickers otomatis penuh. Salah satu jenis mesin Vickers mekanis diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Mesin pengujian kekerasan

Pada umumnya ada 3 jenis bentuk jejak (lekukan) yang dihasilkan oleh penekanan indentor, yaitu bentuk persegi sempurna, bentuk bantal dan jejak berbentuk tong. Seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bentuk-bentuk jejak yang dihasilkan

Jejak dengan bentuk persegi dihasilkan oleh indenter intan berbentuk piramid yang sempurna. Jejak berbentuk bantal dihasilkan karena terjadinya pengerutan logam di sekitar permukaan. Dan jejak dengan bentuk tong umumnya didapatkan pada logam-logam yang dikerjakan dingin (*cold working*) sehingga menghasilkan bentuk bubungan.

Pada pelaksanaan pengujian kekerasan material dengan metode *Vickers*, maka benda yang akan diuji harus memiliki permukaan yang rata, halus dan bersih yang bebas dari cat, kerak, oksidasi minyak dan kotoran lainnya. Untuk mendapatkan kualitas permukaan spesimen seperti ini, umumnya dicapai dengan proses penggerindaan dan pemolesan.

Seperti halnya pengujian kekerasan Brinell, di mana jika ukuran jejak semakin kecil, maka kekerasan benda uji juga semakin keras dan sebaliknya. Hal tersebut berlaku juga pada pengujian kekerasan *Vickers*.

Pengujian kekerasan *Vickers* tidak cocok untuk menguji material yang tidak homogen, seperti besi tuang.

2.5.2 Standar Pengujian *Vickers*

Standar pengujian kekerasan *Vickers* secara lengkap diuraikan di dalam standar-standar berikut,

- ASTM E92 : Metode standar pengujian kekerasan *Vickers* untuk bahan logam
- ASTM E384 : Metode pengujian standar kekerasan mikro material

2.5.3 Penulisan Angka Kekerasan *Vickers*

Cara penulisan kekerasan *Vickers* biasanya ditulis dalam bentuk angka yang diikuti dengan huruf HV (*Hardness Vickers*) dan besarnya beban uji. Sebagai contoh: 186 HV 30, artinya angka kekerasan material yang diuji adalah 186, beban uji yang digunakan adalah 30 kgf, dan lamanya waktu penerapan

beban (dwell time) adalah 10 -15 detik. Bila waktu penerapan beban tidak terletak antara 10 -15 detik, maka waktu penerapan beban ujinya harus dicantumkan. Contoh: 472 HV 50/20, artinya angka kekerasan benda uji adalah 472, besar beban uji yang diterapkan 50 kgf, dan lamanya waktu penerapan beban adalah 20 detik.

2.5.4 Keuntungan dan Kekurangan Pengujian Kekerasan *Vickers*

Dibandingkan dengan pengujian kekerasan lainnya, pengujian kekerasan *Vickers* mempunyai beberapa keuntungan dan juga kerugian (kekurangan), seperti berikut.

- **Keuntungan:**

- Menggunakan hanya satu jenis indentor untuk menguji material yang lunak hingga yang keras.
- Pembacaan ukuran jejak dapat dilakukan dengan lebih akurat.
- Jenis pengujian yang relatif tidak merusak.
- Metode *Vickers* dapat digunakan pada hampir semua jenis logam.

- **Kekurangan:**

- Secara keseluruhan, waktu pelaksanaan pengujian lama, memerlukan pengukuran diagonal jejak secara optik permukaan benda uji harus dipersiapkan dengan baik.

2.5.5 Kekerasan Mikro *Vickers*

Selain untuk pengujian kekerasan makro, metode *Vickers* dapat juga digunakan untuk melaksanakan pengujian kekerasan mikro (*Vickers microhardness test*). Rentang beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan mikro *Vickers* ini adalah kecil, yaitu antara 1 gf hingga 1000 gf (1 kgf). Pengujian kekerasan mikro *Vickers* sangat cocok diterapkan pada bahan yang tipis, lapisan dari benda uji yang permukaannya dikeraskan, keramik, dan komposit.

2.6 *Heat Input*

Heat input merupakan masukan panas pada saat proses pengelasan. Harga *heat input* pada saat proses pengelasan akan mempengaruhi dari struktur mikro material dapat menjadi lebih tangguh atau dapat pula menjadi brittle dan juga dapat menyebabkan terjadinya korosi. *Heat input* pada proses pengelasan akan berpengaruh pada microstruktur lasan dan HAZ terutama nilai hardness dan impact. Heat input yang terlalu tinggi akan menyebabkan hot cracking, dan yang terlalu rendah akan menyebabkan *cold cracking* apalagi ditunjang dengan adanya *hydrogen* yang akan menyebabkan korosi.

Untuk menentukan *preheat* dan *cooling time* bisa dilihat dari berbagai standar. Secara matematis besaran heat input pada lasan dapat dirumuskan (Sumber: ASM Metals Handbook, 1993).

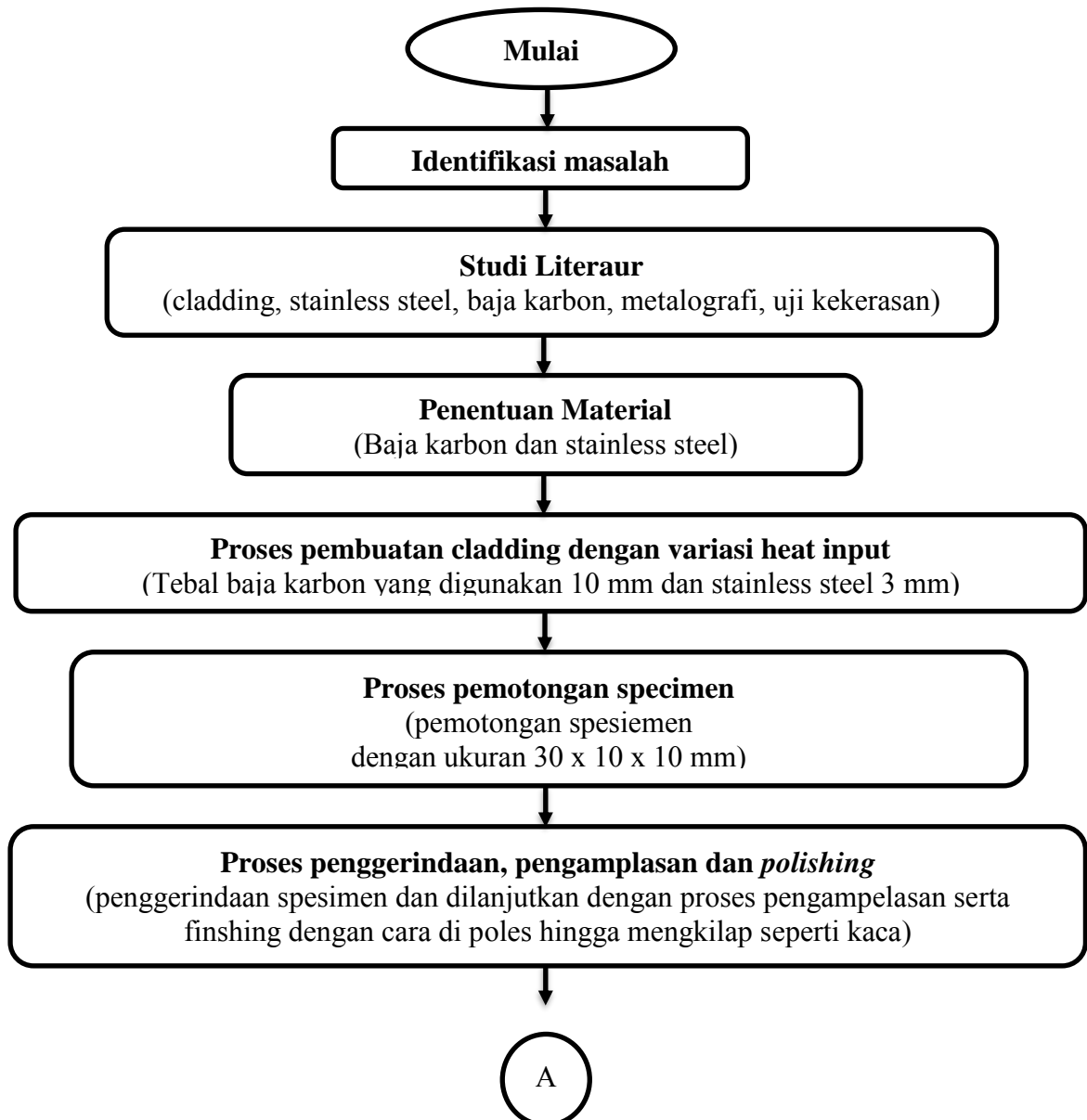
$$\text{Heat Input (KJ/mm)} = \frac{\text{Current (A)} \times \text{arc welding (v)} \times 60}{\text{Travel speed (mm/min)} \times 1000} \dots\dots\dots (2.6)$$

BAB III

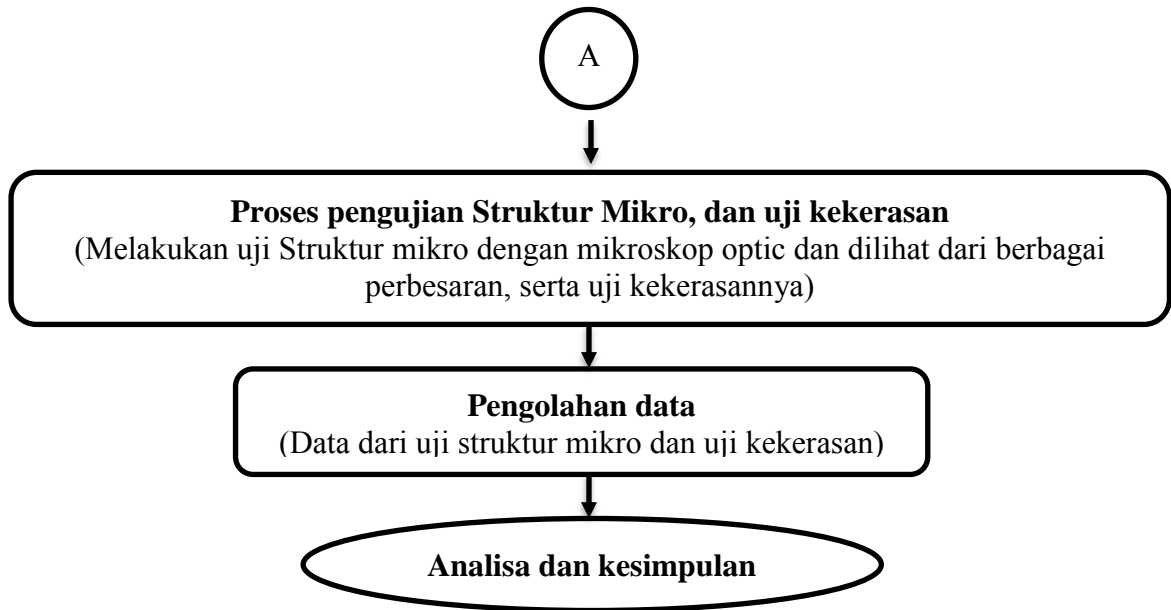
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)

Metodologi penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini akan digambarkan dalam Diagram alir Berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir pengerjaan Tugas akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2 Material dan Alat yang dibutuhkan

3.2.1 Material

Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa material sebagai komponen utama, antara lain:

a. Baja Karbon ASTM A36

Baja Karbon yang digunakan sebagai base metal pada penelitian ini adalah ASTM A36, karena baja grade ini adalah yang paling umum digunakan di industry perkapalan dan *offshore structure* di Indonesia. Dengan dimensi plat baja karbonnya adalah 10 mm x 150 mm x 100 mm.

b. Elektroda E309

Elektroda ini memiliki ketahanan korosi dan *weldability* terhadap baja karbon yang sangat baik. Oleh karena itu jenis ini akan digunakan utamanya sebagai material *Stainless Steel*. Merk yang digunakan adalah *Nikko Steel* yang mudah dijumpai di pasaran Adapun ukuran overlay cladding Stainless steel ini adalah 60 mm x 35 mm x 5 mm. seperti diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Elektroda E309 - 3.2 mm

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada pengerjaan penelitian ini secara garis besar meliputi proses pengelasan, pemotongan, penggrindaan dan pengujian material. Berikut ini akan dijelaskan peralatan yang digunakan secara berurutan pada proses penelitian ini.

a. Peralatan Pengelasan

Mesin yang digunakan adalah mesin las SMAW yang ada di laboratorium konstruksi dan bengkel las PPNS SURABAYA, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Mesin Las SMAW

3.3 Proses pengerjaan

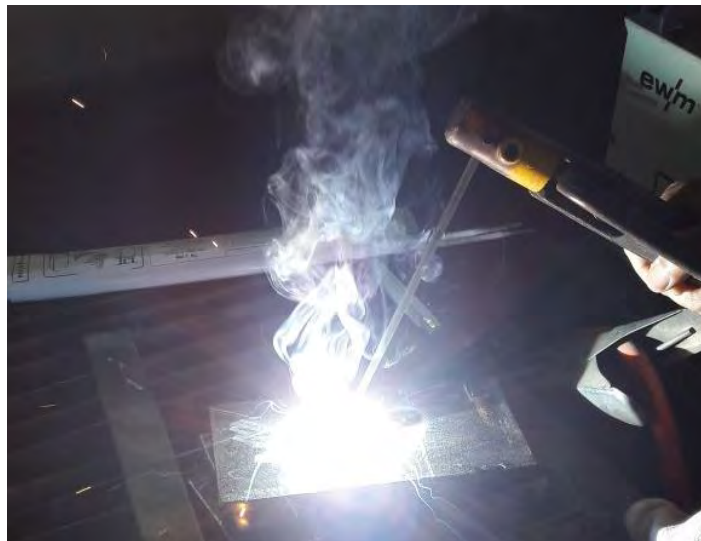
3.3.1 Penyediaan Material

Seperti disebutkan di sub bab sebelumnya, material yang dibutuhkan adalah base metal dan elektroda. Base metal yang digunakan ialah baja karbon grade ASTM A36 didapat dari bengkel las PPNS Surabaya.

Merk elektroda yang digunakan adalah *Nikko Steel*. Elektroda E309 diameter 3.2 mm yang cukup langka di pasaran. Hanya sebagian kecil toko yang menyediakannya, dan merk nya hanya sebatas *Nikko Steel*.

3.3.2 Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan dengan mesin las SMAW yang tersedia di bengkel las PPNS Surabaya. Pengelasan dilakukan dengan dua lapisan atau dua layer sehingga ada dua lapisan *Stainless Steel* untuk ukuran 5 mm. Adapun ukuran dari baja A36 adalah 150 x 100 x 10 mm untuk *overlay Stainless Steel* adalah 50 x 35 x 5 mm. Seperti diperlihatkan pada Gambar 3.4 dan 3.5



Gambar 3.4 Pengelasan *Cladding* SMAW



Gambar 3.5 Hasil Pengelasan *Cladding* Tampak atas

Pada Saat pengelasan *overlay cladding*, ada perbedaan variasi arus yaitu 90 A, 100 A, 110 A. hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai *heat input* dalam setiap pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini, adapun parameter pengelasan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter pengelasan pada setiap *Heat Input*

Spesimen	Tegangan (V)	Arus (A)	Travel Speed (mm / min)	Heat Input (Kj / mm)
1	20	90	46.95	2.3
	20	90	48.15	2.24
	20	90	49.05	2.20
	Rata-rata		48.04	2.24
2	21	100	41.14	3.06
	21	100	42.96	2.93
	21	100	43.58	2.89
	Rata-rata		42.56	2.96
3	22	110	40.65	3.57
	22	110	41.17	3.52
	22	110	39.89	3.64
	Rata-rata		40.56	3.58

Dari perbedaan arus yang digunakan maka diperoleh nilai heat input yang juga bervariasi adapun perhitungan untuk mencari besarnya nilai heat inputnya dapat menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Heat Input (kJ/mm)} = \frac{\text{Current (A)} \times \text{arc welding (v)} \times 60}{\text{Travel speed (mm/min)} \times 1000} \dots\dots\dots (3.1)$$

3.3.3 Proses Pemotongan Spesimen

Pada tahap ini spesimen di potong sesuai ukuran minimum untuk pengujian struktur mikro dan pengujian kekerasan. Pemotongan dilakukan di laboratorium Dinamika Struktur Teknik Kelautan ITS, dan pemotongan spesimen dilakukan dengan proses manual untuk menghindari pengaruh panas yang terjadi pada saat proses pemotongan berlangsung. Seperti diperlihatkan pada Gambar 3.6, 3.7 & 3.8.



Gambar 3.6 Pemotongan Spesimen secara manual



Gambar 3.7 Spesimen yang telah di potong

Setelah dipotong menjadi beberapa buah spesimen, selanjutnya finishing. Dimana tiap spesimen harus halus permukaannya dengan melakukan proses pengampelasan dan *polishing*.



Gambar 3.8 Spesimen yang telah di lakukan pengampelasan

Proses pengampelasan dilakukan menggunakan kertas amplas dari ukuran 50, 100, 200, 300, 400, 500, 800, 1000, 1500, 2000 setelah proses pengampelasan dilakukan tahap selanjutnya ialah proses pemolesan dengan menggunakan mesin polish dan dibantu dengan cairan autosol.

3.3.4 Persiapan Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop yang ada di laboratorium Teknik metalurgi ITS Surabaya. Adapun secara garis besar langkah-langkah yang harus dilakukan pada metalografi adalah:

a. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses Pemotongan merupakan pemindahan material dari sampel yang besar menjadi spesimen dengan ukuran yang kecil. Pemotongan yang salah akan mengakibatkan struktur mikro yang tidak sebenarnya karena telah mengalami perubahan.

Kerusakan pada material pada saat proses pemotongan tergantung pada material yang dipotong, alat yang digunakan untuk memotong, kecepatan potong dan kecepatan makan. Pada beberapa spesimen, kerusakan yang ditimbulkan tidak terlalu banyak dan dapat dibuang pada saat pengamplasan dan pemolesan.

b. Pengerindaan, Pengamplasan, dan Pemolesan

Pada proses ini dilakukan penggunaan partikel abrasif tertentu yang berperan sebagai alat pemotongan secara berulang-ulang. Pada beberapa proses, partikel-partikel tersebut disatukan sehingga berbentuk blok dimana permukaan yang ditonjolkan adalah permukaan kerja.

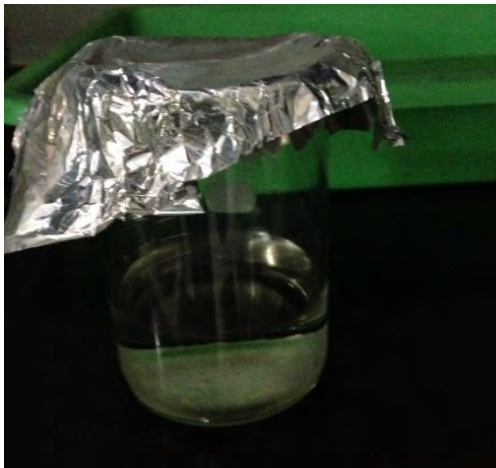
Perbedaan antara pengerindaan dan pengamplasan terletak pada batasan kecepatan dari kedua cara tersebut. Pengerindaan adalah suatu proses yang memerlukan pergerakan permukaan abrasif yang sangat cepat, sehingga menyebabkan timbulnya panas pada permukaan spesimen. Sedangkan pengamplasan adalah proses untuk mereduksi suatu permukaan dengan pergerakan permukaan abrasif yang bergerak relatif lambat sehingga panas yang dihasilkan tidak terlalu signifikan. Untuk pemolesan menggunakan mesin yang diperlihatkan pada Gambar.3.9



Gambar 3.9 Mesin Polish yang digunakan

c. Pengetsaan (*Etching*)

Pengetsaan dilakukan dalam proses metalografi adalah untuk melihat struktur mikro dari sebuah spesimen dengan menggunakan mikroskop optik. Spesimen yang cocok untuk proses etsa harus mencakup daerah yang dipoles dengan hati-hati, yang bebas dari deformasi plastis karena deformasi plastis akan mengubah struktur mikro dari spesimen tersebut. Seperti diperlihatkan pada Gambar 3.10 (a) dan 3.10 (b)



(a)



(b)

Gambar.3.10 (a.) Cairan etsa Nital, (b). Spesimen yang sudah di etsa

Setelah Proses pengetsaan dilakukan spesimen di uji di mikroskop optik yang ada di laboratorium metalurgi serta melihat struktur mikro untuk masing masing perbesaran yang akan dilakukan untuk mengetahui fasa fasa yang terjadi. Adapun peralatan pengujian struktur mikro diperlihatkan pada Gambar 3.11



Gambar.3.11 Mikroskop yang digunakan untuk uji struktur mikro

Pada peralatan mikroskop yang digunakan, mikroskop langsung terhubung dengan perangkat komputer sehingga hasil pengamatan foto struktur mikronya ditampilkan pada layar monitor dengan perbesaran tertentu yang kita gunakan pada mikroskop sewaktu pengamatan berlangsung.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Struktur Mikro

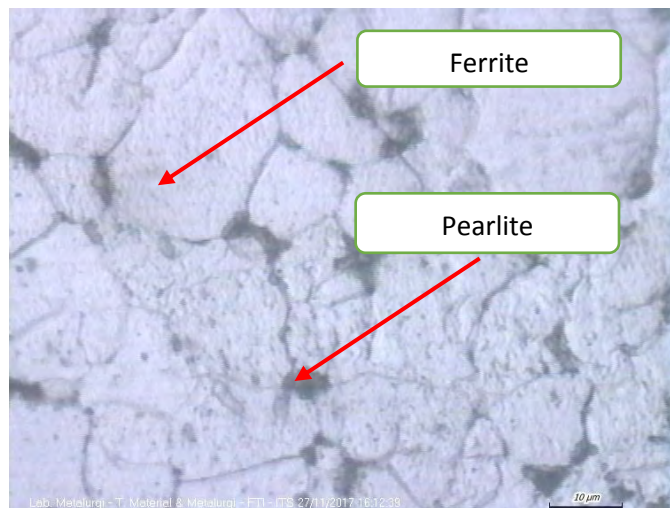
Pengamatan Struktur Mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik OLYMPUS BX51M yang ada di Laboratorium Teknik Metalurgi ITS. Pengamatan ini dilakukan dengan perbesaran gambar yang paling rendah hingga ke yang paling tinggi, untuk logam induk dan material *weld overlay* nya.

Data hasil pengamatan struktur mikronya akan tersimpan otomatis di komputer yang sudah terhubung dengan mikroskop yang digunakan, dengan masing masing perbesaran yang sudah diatur, sehingga kita bias mengamati kumpulan dari fasa fasa yang ada pada masing masing material ujinya.

Dalam pengamatan ini hal yang dilihat atau diamati adalah pengaruh variasi heat input terhadap struktur mikro baik untuk logam induk maupun material *weld overlay* nya.

4.1.1 Hasil Pengamatan Untuk Spesimen dengan Nilai *Heat Input* 2,24 Kj/mm.

Berikut adalah hasil pengamatan untuk logam induk dengan nilai heat input 2,24 Kj/mm dan didapatkan hasil foto struktur mikronya dapat dilihat pada Gambar. 4.1 dibawah ini.

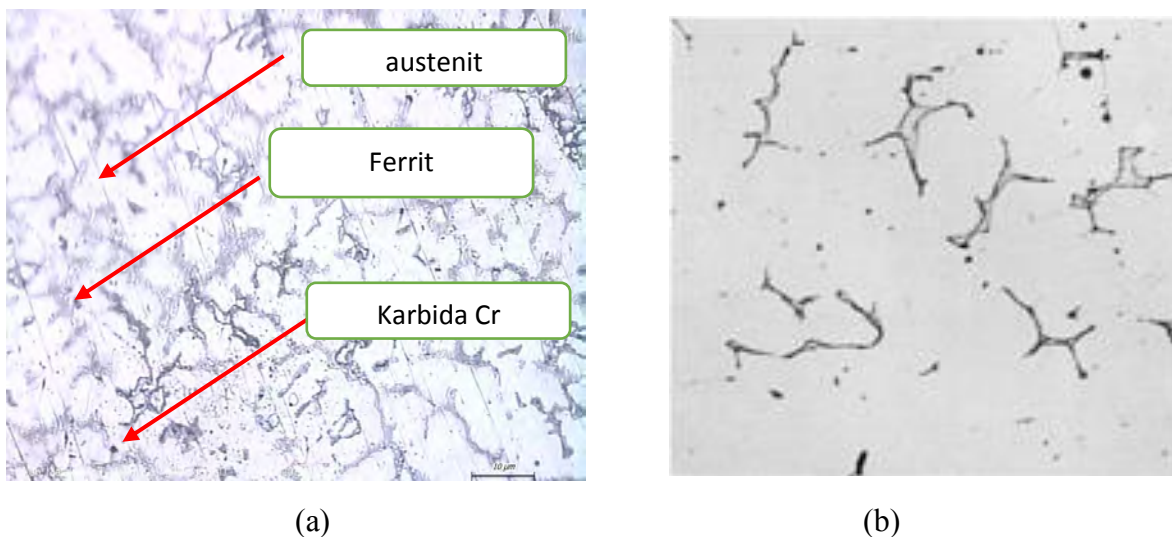


Gambar.4.1 Hasil Foto struktur mikro logam induk dengan etsa Nital

Gambar 4.1 memperlihatkan struktur mikro untuk *Base metal* nya yaitu baja karbon rendah dengan variasi *Heat Input* sebesar 2,24 Kj/mm, untuk dapat melihat gambar dari struktur mikronya dilakukan proses etsa dengan menggunakan cairan etsa Nital (HNO_3) untuk baja karbon rendah dan hasil pengamatan menghasilkan foto struktur mikro yang mempunyai fasa perit (warna terang) yang lebih dominan dan sedikit fasa perlit (warna gelap).

4.1.2 Pengamatan Untuk Material *Weld Overlay* dengan Nilai *Heat Input* 2,24 Kj/mm

Hasil foto struktur mikro untuk *weld metal* nya terlihat pada Gambar 4.2 dibawah ini:



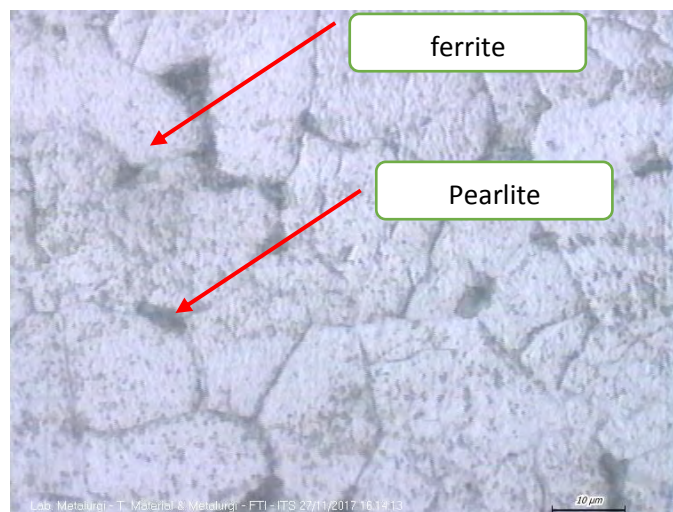
Gambar 4.2 (a) Hasil Foto struktur mikro *Weld Metal* dengan etsa *Carpenter 300 Series Stainless Steel Etchant* (b) Literatur yang digunakan sebagai pembandingan (Sumber ASM Metal Handbook Vol.9)

Gambar.4.2 menunjukkan struktur mikro untuk *weld metal* nya dengan variasi *Heat Input*nya sebesar 2.24 Kj/mm. dan untuk *weld metal* nya, cairan etsa yang digunakan untuk melihat struktur mikronya adalah *Carpenter 300 Series Stainless Steel Etchant*. dan *weld metal* nya memiliki fasa fasa yaitu terdiri dari austenitic (warna putih) Ferit(warna gelap) Serta karbida chrom (titik hitam). Dan terlihat

pada gambar menghasilkan struktur butiran yang halus. Fasa fasa yang ada di spesimen memiliki unsur unsur yang sama dengan yang ada pada struktur mikro yang digunakan sebagai literature yang juga terdiri dari fasa austenit, ferit dan karbida krom

4.1.3 Hasil Pengamatan Untuk *Base Metal* dengan Nilai *Heat Input* 2,96 Kj/mm.

Pengamatan struktur mikro untuk logam induk dengan nilai heat input 2,96 Kj/mm dapat dilihat dari Gambar 4.3 dibawah ini



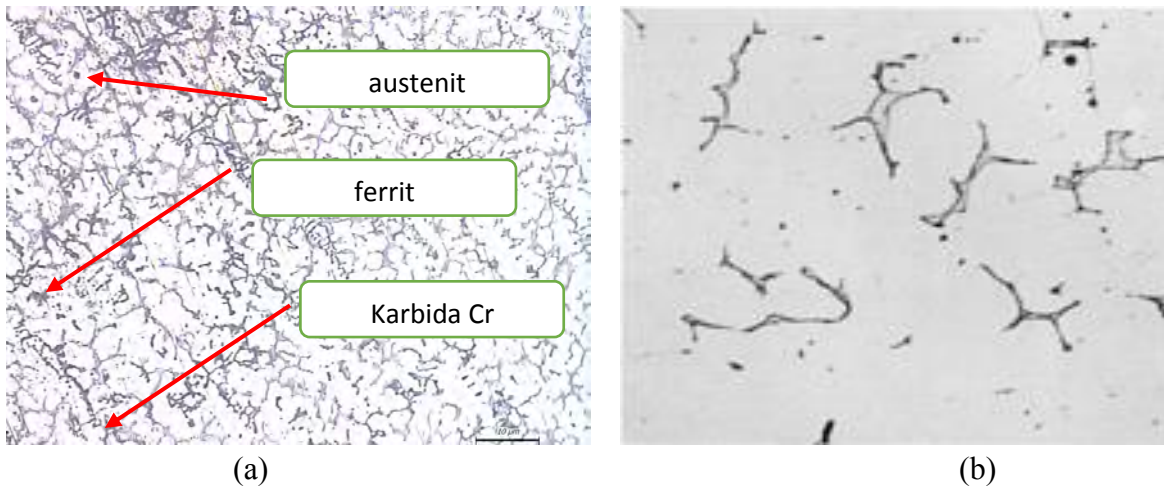
Gambar.4.3 Hasil Foto struktur mikro logam induk dengan etsa Nital

Gambar 4.3 memperlihatkan struktur mikro untuk *base metal* yaitu baja karbon rendah dengan variasi *Heat Input* sebesar 2,96 Kj/mm, dan di etsa dengan menggunakan cairan etsa Nital (HNO_3) untuk struktur mikronya mempunyai fasa perit (warna terang) yang lebih dominan dan sedikit fasa perlit (warna gelap).

4.1.4 Pengamatan Untuk *Material Weld Overlay* dengan Nilai *Heat Input* 2,96 Kj/mm

Pengamatan struktur mikro untuk weld metalnya dengan variasi heat input sebesar 2,98 Kj/mm untuk *weld metal* nya karena merupakan baja tahan karat austenitik dan cairan etsa yang digunakan ialah *Carpenter 300 Series Stainless Steel*

Etchant. untuk hasil foto struktur mikronya dapat dilihat pada Gambar 4.4 dibawah ini:

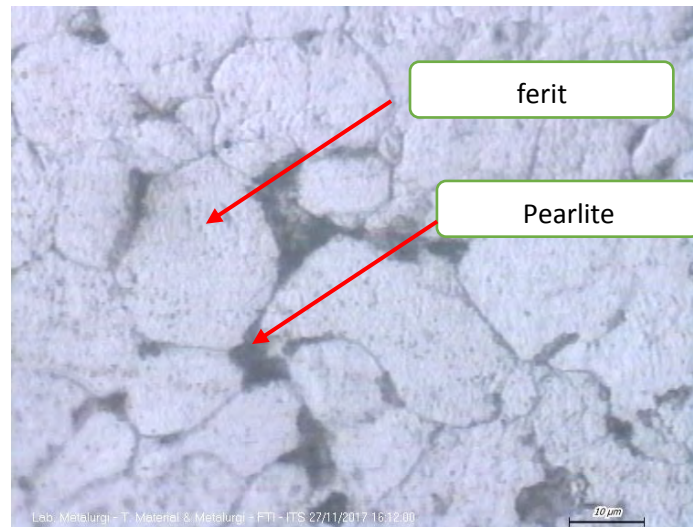


Gambar 4.4 (a) Hasil Foto struktur mikro *Weld Metal* dengan etsa *Carpenter 300 Series Stainless Steel Etchant* (b) Literatur yang digunakan sebagai pembandingan (Sumber ASM Metal Handbook Vol.9)

Gambar.4.4 (a) menunjukkan struktur mikro untuk *weld metal* nya dengan variasi Heat Inputnya sebesar 2.95 KJ/mm. dan untuk *weld metal* nya, memiliki fasa fasa yaitu terdiri dari austenitik (warna putih) Ferite (warna gelap) Serta karbida chrom (titik hitam). Dan terlihat pada gambar menghasilkan struktur butiran yang sedikit lebih halus. Jika dibandingkan dengan literatur yang digunakan pada Gambar 4.4 (b). ketiga fasa tersebut juga ada pada struktur mikronya hanya ada perubahan dari volume untuk masing masing fasanya.

4.1.5 Hasil Pengamatan Untuk Spesimen dengan Nilai *Heat Input* 3,58 KJ/mm.

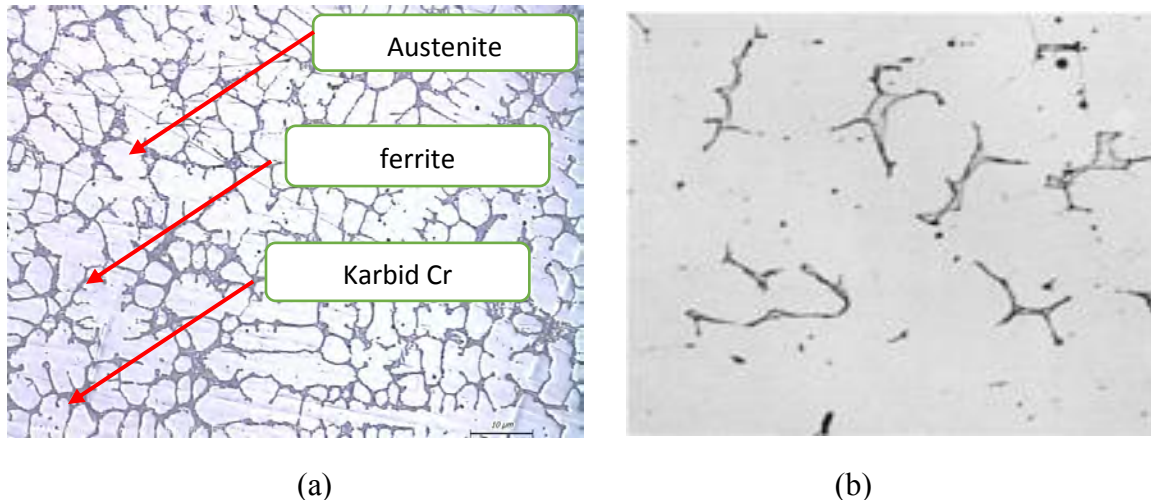
Berikut adalah hasil pengamatan untuk logam induk dengan nilai heat input 2,24 KJ/mm dan didapatkan hasil foto struktur mikronya dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini:



Gambar.4.5 Hasil Foto struktur mikro logam induk dengan etsa Nital

Gambar 4.5 memperlihatkan struktur mikro untuk *Base metal* nya yaitu baja karbon rendah dengan variasi *Heat Input* sebesar 3,58 Kj/mm, untuk dapat melihat gambar dari struktur mikronya juga dilakukan proses etsa dengan menggunakan cairan yang sama untuk variasi heat input yang lain yaitu etsa Nital (HNO_3), untuk baja karbon rendah dan hasil pengamatan menghasilkan foto struktur mikro yang tidak mengalami perubahan yang signifikan yaitu mempunyai fasa ferit (warna terang) yang lebih dominan dan sedikit fasa perlit (warna gelap).

4.1.6 Pengamatan Struktur Mikro Untuk Material *Weld Overlay* dengan Nilai *Heat Input* 3,58Kj/mm



Gambar 4.6 a) Hasil Foto struktur mikro *Weld Metal* dengan etsa *Carpenter 300 Series Stainless Steel Etchant* (b) Literatur yang digunakan sebagai pembanding (Sumber ASM Metal Handbook Vol.9)

Gambar.4.6 (a) menunjukkan struktur mikro untuk *weld metal* nya dengan variasi Heat Inputnya sebesar 3.58 Kj/mm. dan untuk *weld metal* nya, memiliki fasa fasa yaitu terdiri dari austenitik (warna putih) Ferit (warna gelap) Serta karbid *chrom* (titik hitam). Dan terlihat pada gambar menghasilkan struktur butiran yang paling Kasar.

Hasil pengamatan struktur mikro secara keseluruhan untuk logam induknya, pada gambar 4.1, gambar 4.3 serta gambar 4.5 yaitu menggunakan cairan etsa Nital (HNO_3) fasa yang tampak jelas yaitu, Ferit (putih) dan Perlit (gelap). Dan untuk setiap variasi heat input tidak terjadi perubahan yang signifikan dari struktur mikronya.

Hasil dari pengamatan struktur mikro secara keseluruhan pada spesimen *Weld metal* nya. Terlihat pada gambar 4.2, gambar 4.4 dan gambar 4.6 yaitu menggunakan cairan etsa *Carpenter 300 Series Stainless Steel Etchant* fasa yang tampak jelas yaitu austenit (warna putih), karbida Cr (khrom), (bintik-bintik hitam), dan ferit (gelap).

Secara umum untuk spesimen dengan nilai *Heat Input* 2.24 KJ/mm untuk daerah las menghasilkan struktur butir yang paling halus. menghasilkan karbida khrom yang mengendap yang sedikit.

Dan untuk spesimen Heat Input 2.96 KJ/mm untuk daerah las menghasilkan struktur butir yang sedikit lebih kasar. menghasilkan karbida khrom yang mengendap sedang. Sedangkan untuk spesimen dengan nilai Heat Input 3,58 KJ/mm untuk daerah las menghasilkan butiran yang kasar dan menghasilkan karbida khrom yang paling banyak.

4.2 Pengujian Kekerasan

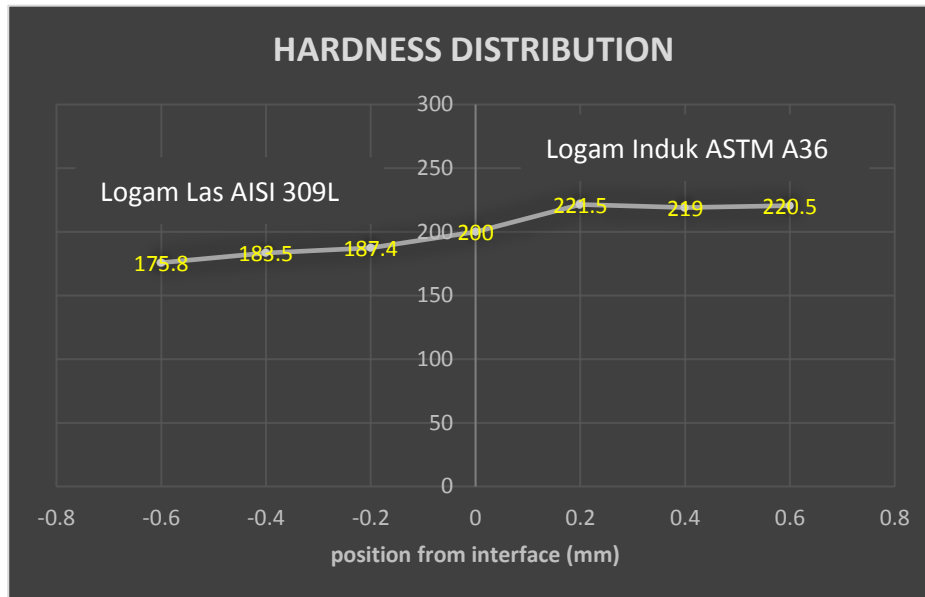
Pengukuran kekerasan dibagian logam induk, serta logam las yang perlu dilakukan untuk mengetahui difusi unsur unsur paduan terutama karbon setelah mengalami perbedaan masukan panas pada saat pengelasan. Uji keras mikro ini dilakukan dengan metode *Vickers* dengan beban 0.2 kg selama 10-15 detik. Uji keras dilakukan dari garis fusi ke 3 titik logam induk dan 3 titik ke logam las. Jumlah total titik uji ialah 6 titik untuk masing masing spesimen dimana jarak antaranya adalah 0.2 mm.

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen dengan *heat input* 2.24 kJ/mm diperlihatkan pada tabel 4.1 dan Gambar grafik 4.7

Tabel 4.1 Hasil pengujian untuk spesimen dengan nilai *heat input* 2.24 kJ/mm

Material	Jarak dari fusion line	KEKERASAN (VHN)
Logam Induk	0.2 mm	220.5
	0.4 mm	218.5
	0.6 mm	218.0
Weld Overlay	-0.2 mm	187.4
	0.4 mm	183.5
	0.6 mm	181.8

Grafik Uji Kekerasan Mikro *Vickers* dengan Nilai *Heat Input* 2.24 KJ/mm



Gambar 4.7 Grafik Uji kekerasan mikro *Vickers* untuk variasi *Heat input* 2.24 kJ/mm

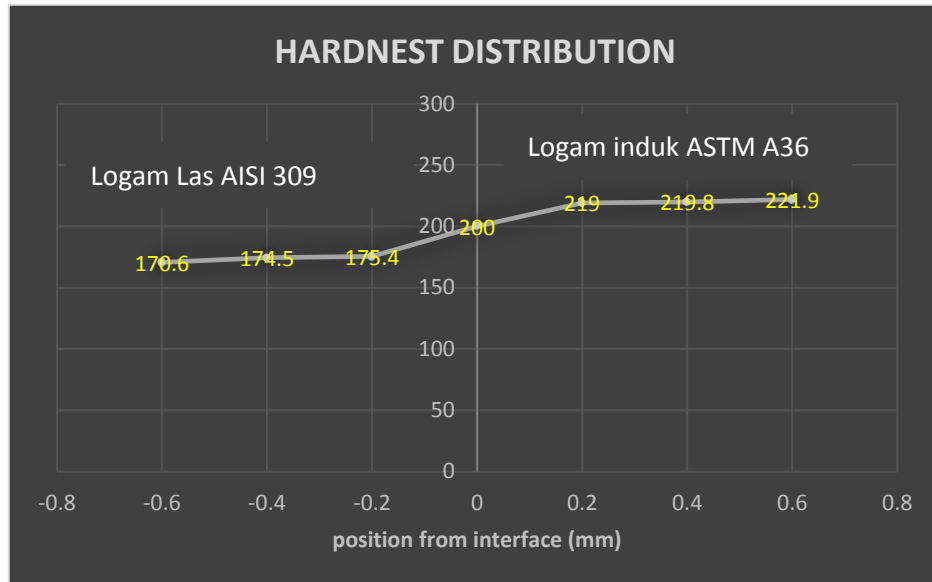
Nilai kekerasan untuk spesimen 1 dengan variasi heat input 2.24 kJ/mm diperoleh harga kekerasan untuk *base metal* nya rata rata adalah 219 VHN serta untuk *weld metal* nya adalah 187.4 VHN.

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen dengan *heat input* 2.96 kJ/mm diperlihatkan pada tabel 4.2 dan Gambar grafik 4.8.

Tabel 4.2 Hasil pengujian untuk spesimen dengan nilai *heat input* 2.96 kJ/mm

Material	Jarak dari fusion line	KEKERASAN (VHN)
Logam Induk	0.2 mm	221.5
	0.4 mm	219.0
	0.6 mm	219.5
Weld Overlay	- 0.2 mm	175.4
	-0.4 mm	174.5
	- 0.6 mm	170.8

Grafik Uji Kekerasan Mikro *Vickers* dengan Nilai *Heat Input* 2.24 KJ/mm



Gambar 4.8 Grafik Uji kekerasan mikro *Vickers* untuk variasi *Heat input* 2.96 kJ/mm

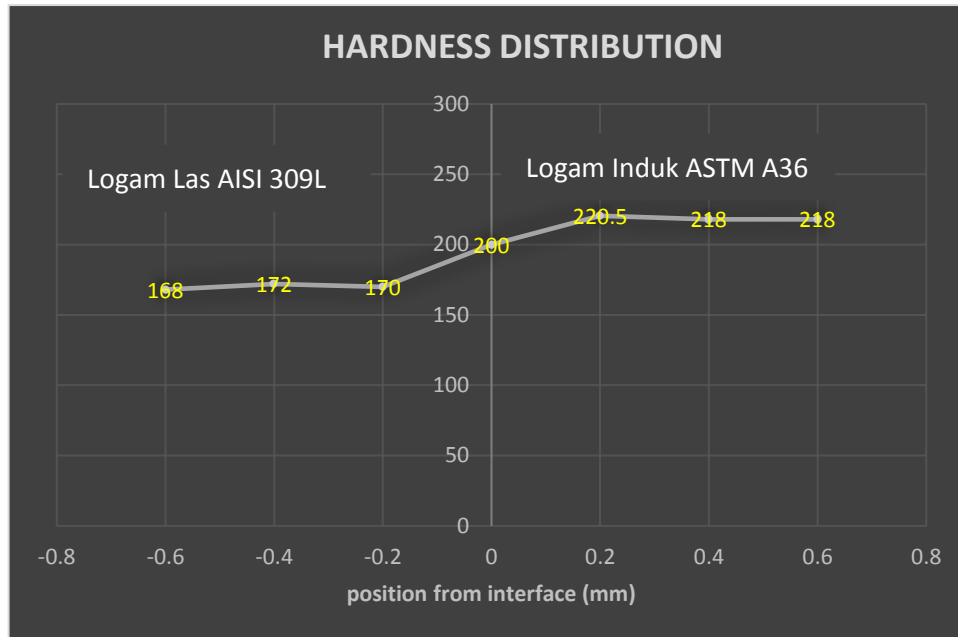
Nilai kekerasan untuk spesimen 2 dengan variasi *heat input* 2.96 KJ/mm diperoleh harga kekerasan untuk *base metal* nya rata rata adalah 220 VHN serta untuk *weld metal* nya adalah 173.7 VHN.

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen dengan *heat input* 3.58 kJ/mm diperlihatkan pada tabel 4.3 dan Gambar grafik 4.9.

Tabel 4.3 Hasil pengujian untuk spesimen dengan nilai *Heat Input* 3.58 kJ/mm

Material	Jarak dari fusion line	KEKERASAN (VHN)
Logam Induk	0.2 mm	221,5
	0.4 mm	219.
	0.6 mm	220.5
Weld Overlay	- 0.2	172.5
	-0.4	170.8
	-0.6	168.9

Grafik Uji Kekerasan Mikro *Vickers* dengan Nilai *Heat Input* 3.58 kJ/mm



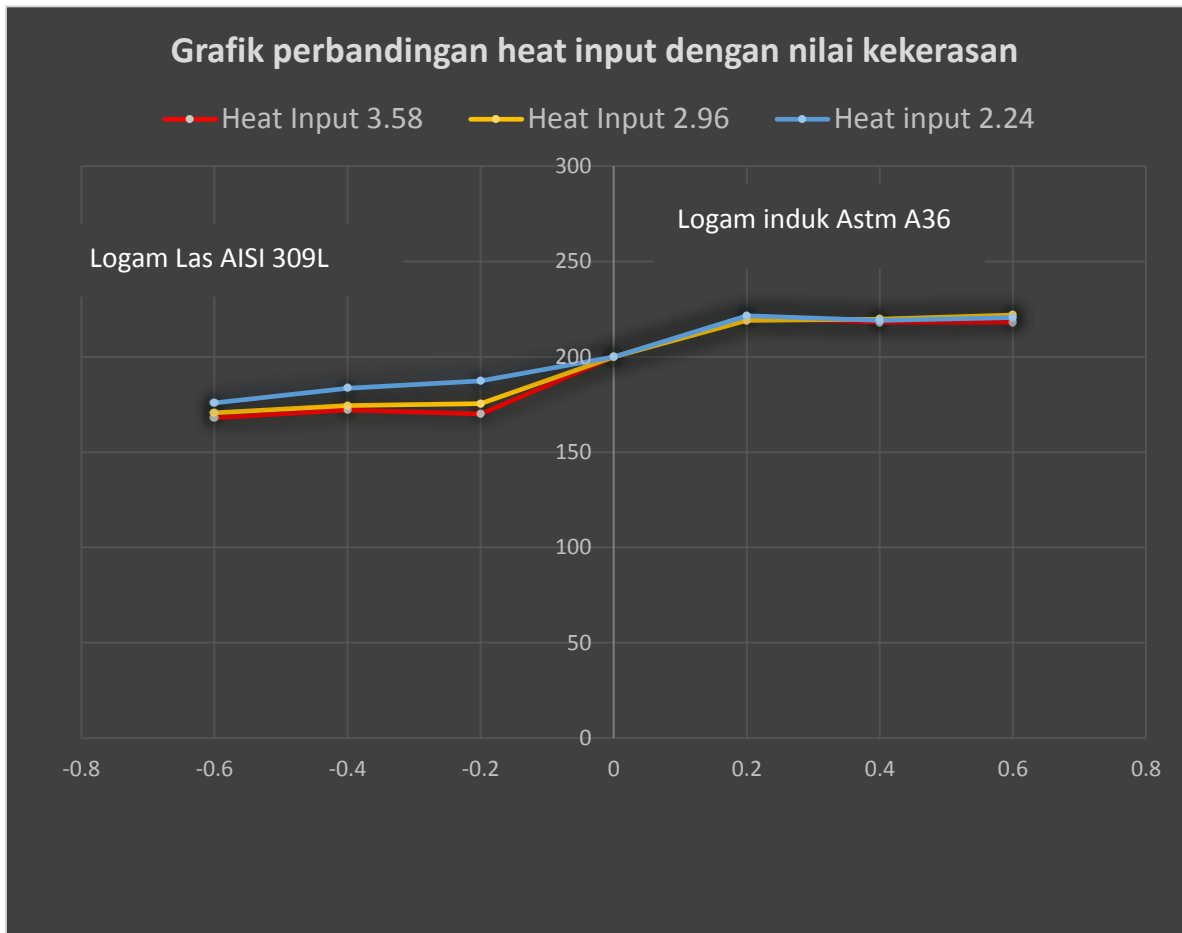
Gambar 4.9 Grafik Uji kekerasan mikro *Vickers* untuk variasi *Heat input* 3.58 kJ/mm

Nilai kekerasan untuk spesimen 3 dengan variasi *heat input* 3.58 KJ/mm diperoleh harga kekerasan untuk *base metal* nya rata rata adalah 220 VHN serta untuk *weld metal* nya adalah 172. VHN

Dari hasil pengujian diatas, nilai kekerasan logam induk lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan material *weld overlay* nya, hal ini masuk akal karena logam induk yang terbuat dari baja paduan rendah yang kekerasannya lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja tahan karat austenitik. Berikut distribusi nilai kekerasan di tampilkan dalam bentuk Grafik untuk Masing masing Variasi *Heat Input*nya.

Jika digambarkan dalam grafik ketiga hasil pengujian kekerasan tersebut dapat dilihat pada Gambar grafik 4.10 dibawah ini:

Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Untuk Masing-masing *Heat Input*



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan *Heat Input* dengan nilai kekerasan

4.3 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan Mikro

Pada studi literatur yang telah dijelaskan perubahan struktur kandungan logam dapat terjadi karena perlakuan panas. Perlakuan panas dalam hal ini ialah *heat input* yang dapat merubah sifat anodik material *cladding* yang dibuat. Semakin rendah *heat input* maka semakin halus bentuk susunan butiran yang terjadi ini menyebabkan perubahan nilai kekerasan pada material itu sendiri. Dan semakin tinggi *Heat input* maka semakin kasar struktur butiran yang terjadi. Secara jelas dapat dilihat pengaruh *heat input* terhadap kekerasannya pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.4 Hubungan *Heat Input* terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan

Heat input (Kj/mm)	Struktur Mikro	Angka Kekerasan	
		Rata rata (VHN)	
2.24	Butiran halus	Weld Metal	Base Metal
		183.7	219
2.96	Butiran sedang	173.7	220
3.58	Butiran kasar	170.9	220

Dari tabel 4.4, Pengaruh variasi *heat input* untuk struktur mikro dan kekerasan pada material weld overlay nya berbanding terbalik dengan harga *heat input* nya, semakin besar heat inputnya maka semakin kasar struktur butiran yang terjadi yang menyebabkan nilai kekerasan nya juga semakin menurun.

Dalam proses metalurgi pembuatan *cladding stainless steel* ini, terjadi penggabungan unsur antara baja tahan karat E 309 dan baja karbon A 36. Disepanjang interface anatarlogam induk dan logam las akan terjadi proses perpindahan atom atom karbon dari logam induk ke logam las yang disebut daerah terkarburasi. Dengan perbedaan nilai pemasukan panas pada saat pengelasan mempengaruhi perubahan struktur struktur yang terkandung didalam masing masing material.pengujian struktur mikro dan kekerasan dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perubahan struktur mikro dari kedua material serta nilai kekerasannya .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan terhadap pengamatan struktur mikro dan uji kekerasan mikro pada material *weld cladding* SMAW dengan variasi *heat input* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian yang dilakukan didapatkan hasil pengamatan struktur mikro sebagai berikut:
 - Spesimen dengan heat input 2.24 kJ/mm memiliki struktur butiran yang halus.
 - Spesimen dengan heat input 2.98 kJ/mm memiliki struktur butiran yang sedikit lebih kasar.
 - Spesimen dengan heat input 3.56 kJ/mm memiliki struktur butiran yang paling kasar.
2. Pada pengujian diatas didapatkan hasil pengujian kekerasan mikro sebagai berikut:
 - Spesimen dengan heat input 2.24 kJ/mm untuk weld metal nya memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 183.9 VHN
 - Spesimen dengan heat input 2.98 kJ/mm untuk weld metal nya dan memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 173.7 VHN
 - Spesiemen dengan heat input 3.56 untuk weld metal nya dan memiliki nilai kekerasan rata- rata sebesar 170.7 VHN

Hubungan antara *heat input*, struktur mikro dan kekerasan dari *weld overlay* nya adalah semakin tinggi *heat input* maka struktur mikronya akan memiliki struktur butiran yang semakin kasar pada *weld* metalnya dan menurunkan nilai kekerasan pada *weld metal* nya tanpa pengaruh yang signifikan pada logam induknya serta meningkatkan nilai kekerasan yang dimiliki oleh weld metalnya.

5.2 Saran

Saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya agar dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, dan melakukan pengujian dengan jumlah spesimen yang lebih banyak serta titik pengujian yang lebih banyak juga dan ditambahkan pengujian impak pada materialnya.

Daftar Pustaka

- Amanto, Hari. (1999). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Arifin, Samsul, 1997. *Las Listrik dan Otogen*. Jakarta: Ghalia. Indonesia.
- ASM Handbook. 2000. Volume 9 *Metallography and Microstructures*. International ASM
- ASM Metal Handbook. Vol. 6. (1993). *Welding, Brazing, and soldering*. USA:
- American Society of Metal (ASM)
- ASTM G 71- 81. (2004). *Standart Guide for conducting and Evalution Galvanic corrosion test in Electrolytes*. New York: American Society for testing and Materials (ASTM).
- Avner, S.H., “*Introduction to Physical Metallurgy*”, Mc. Graw-Hill, New York, 1964
- Brady et all. (2004). *Material Handbook fifteenth edition*. USA: M.Grow-Hill Company
- Djaprie, Sriati. “Teknologi Mekanik” jilid 1 Erlangga, Jakarta. 1992
- Roberge, Pierre R., 2000, *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, United States of America.
- Schweitzer, Philip A., 1979, “*Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers* “, Mc Graw Hill Book Co., New York.
- Syahroni, Nur. (2004). Tesis “Analisa perkiraan lebar daerah terkarburasi di *interface material weld overlay* yang terekspos suhu tinggi” Bandung: Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Material, ITB.
- Wiryosumarto H. dan Okumura T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

LAMPIRAN



Gambar: Hasil pengelasan weld overlay variasi heat input 2.24 kJ/mm



Gambar: Hasil pengelasan weld overlay variasi heat input 2.96 kJ/mm



Gambar: Hasil pengelasan weld overlay dengan nilai heat input 3.58 kJ/mm



Gambar: Hasil pengelasan weld overlay tampak Samping

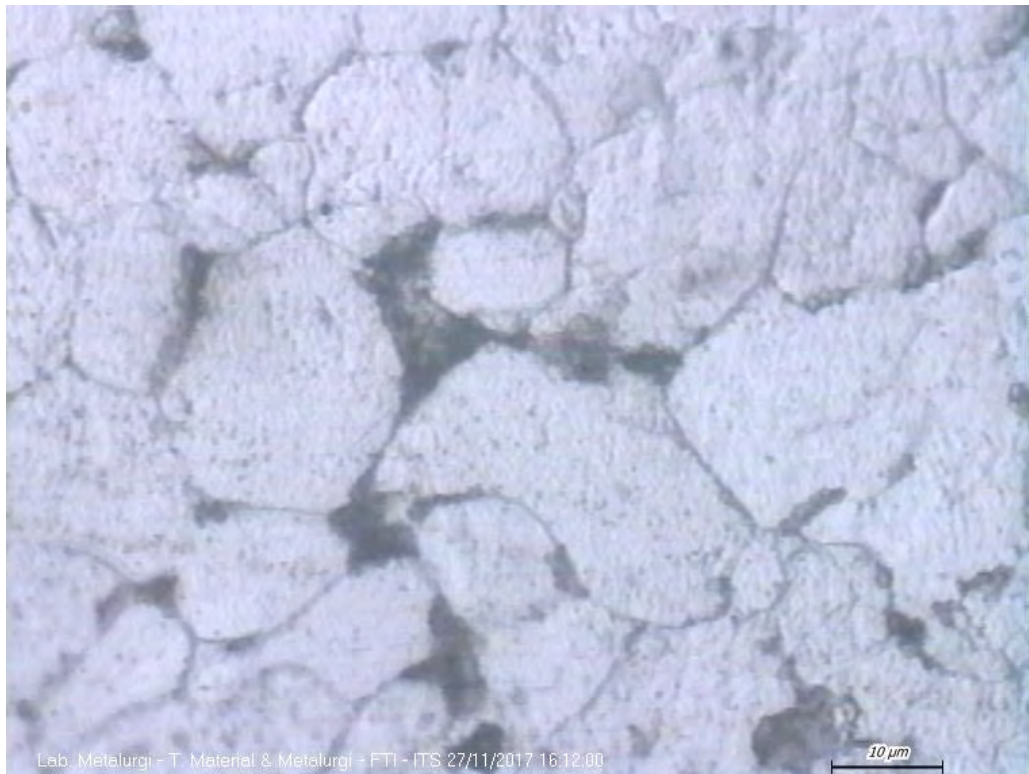
Alat pengamatan Struktur Mikro Dan Uji Kekerasan



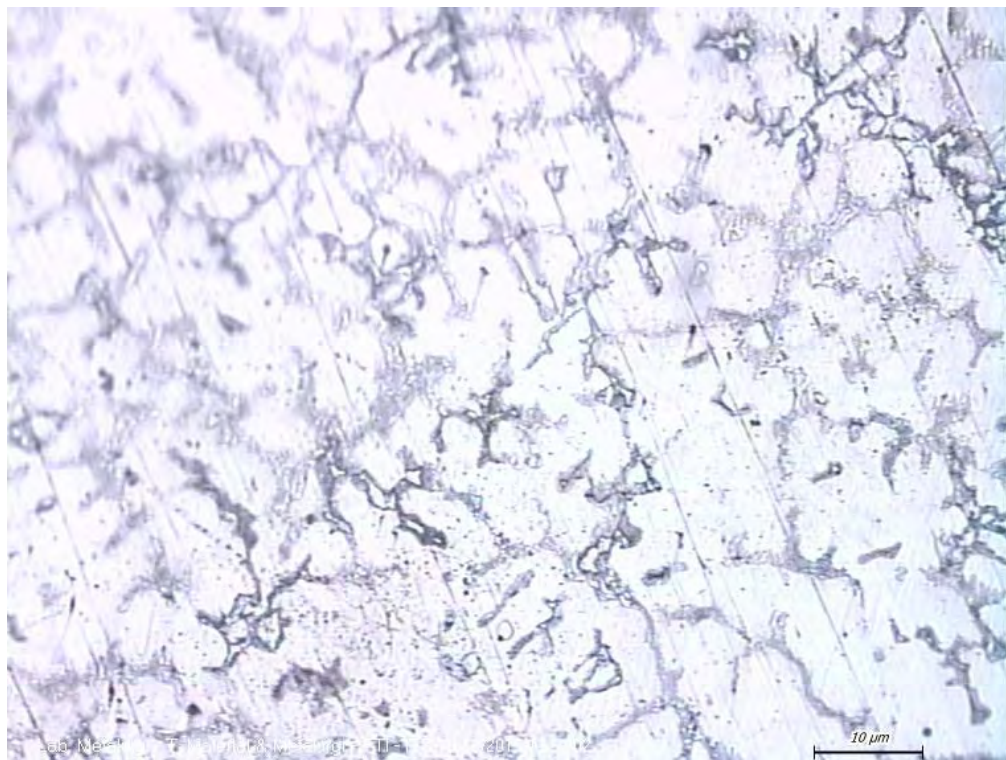
Gambar: Peralatan uji struktur Mikro



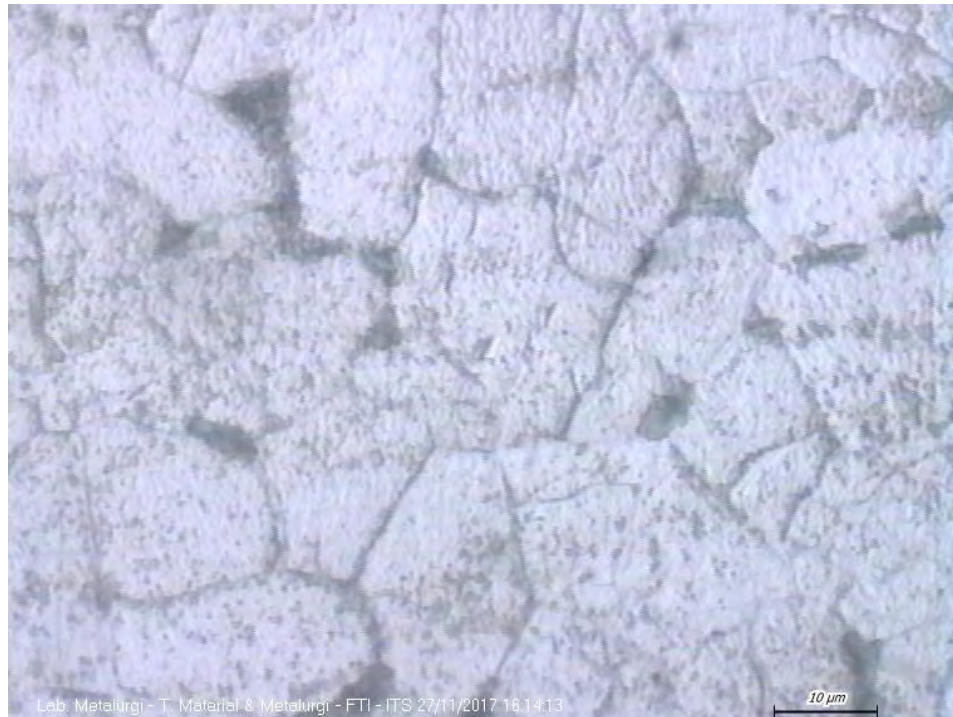
Gambar: mesin uji kekerasan yang digunakan



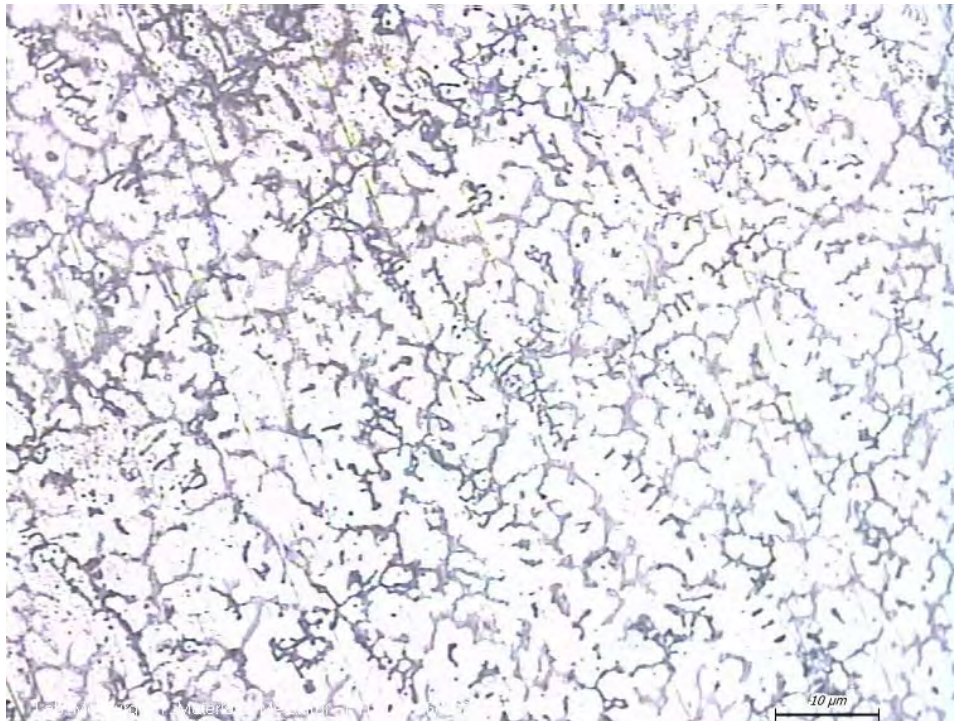
Gambar: Foto Struktur mikro logam induk nilai heat input 2.24 kJ/mm



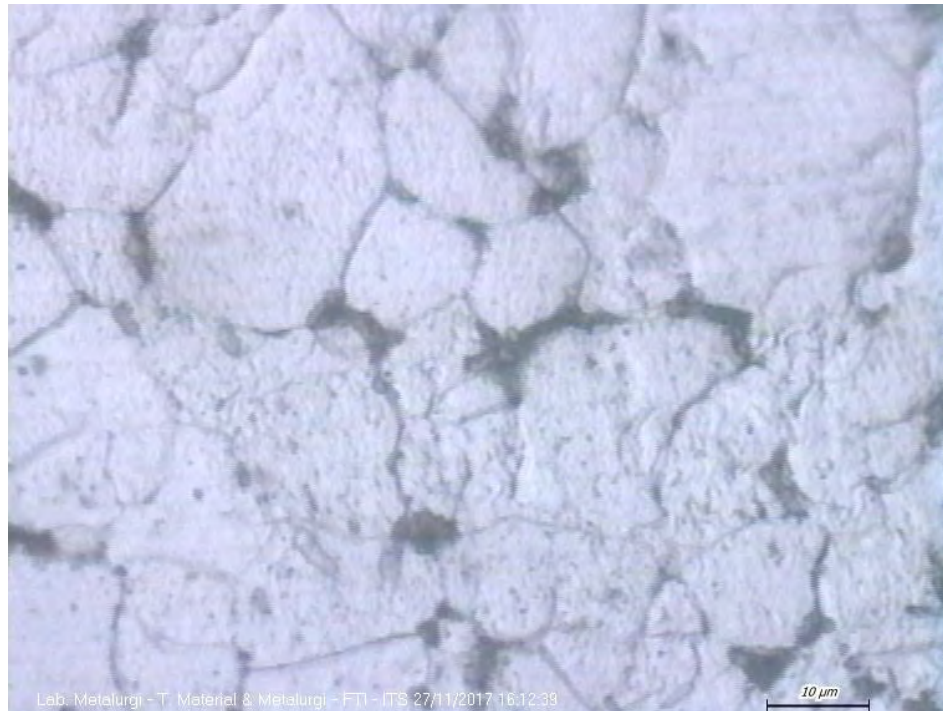
Gambar: Foto Struktur mikro logam las nilai heat input 2.24 kJ/mm



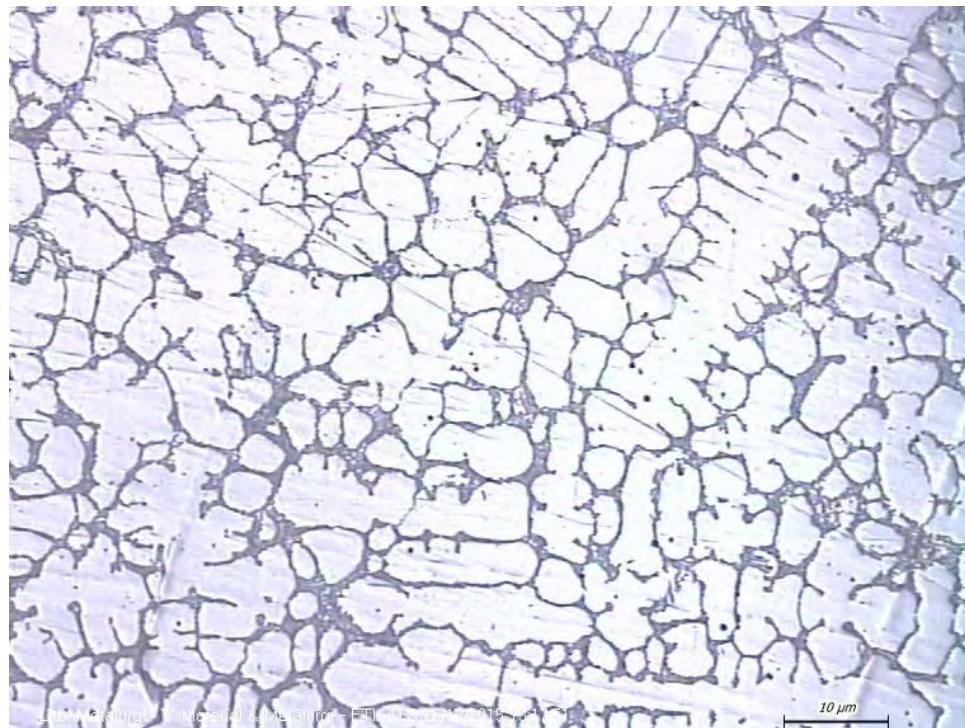
Gambar: Foto struktur mikro logam induk nilai heat input 2.96 kJ/mm



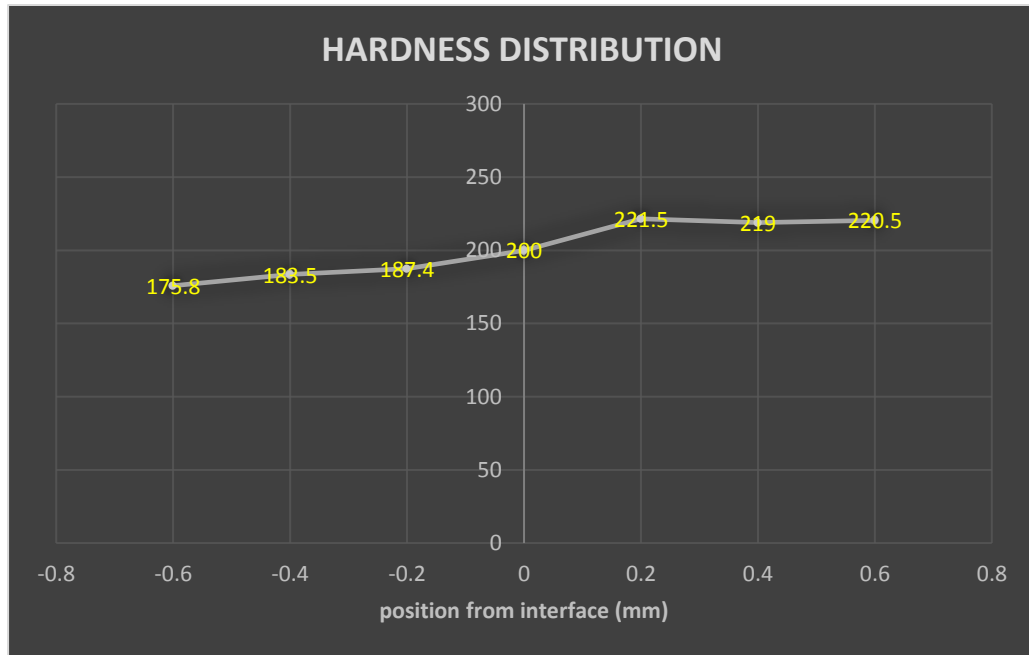
Gambar: Foto Struktur mikro logam las nilai heat input 2.96 kJ/mm



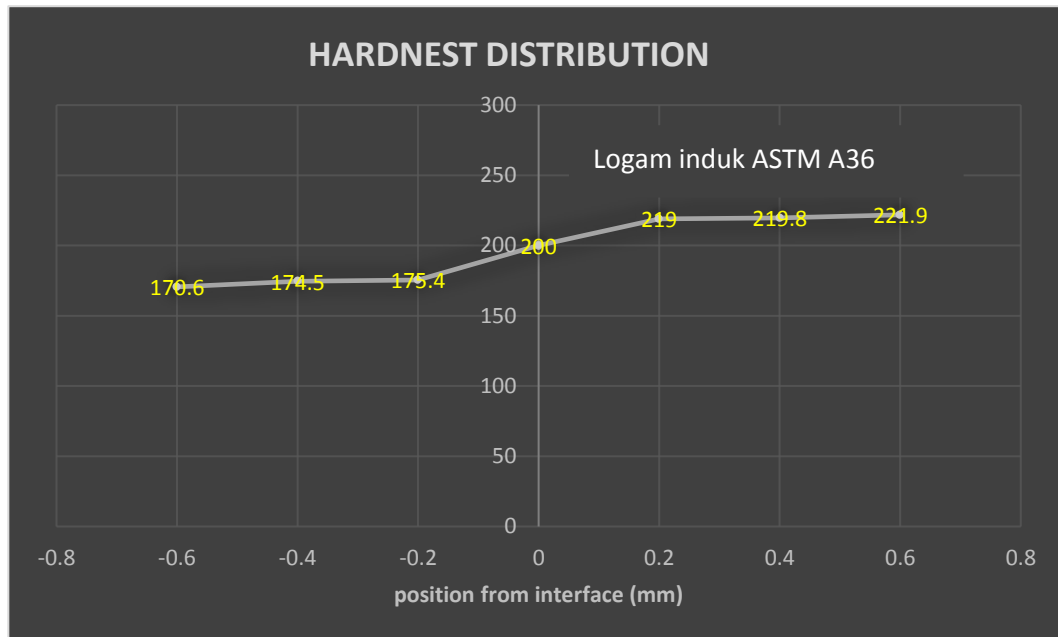
Gambar: Foto struktur mikro logam induk dengan heat input 3.58 kJ/mm



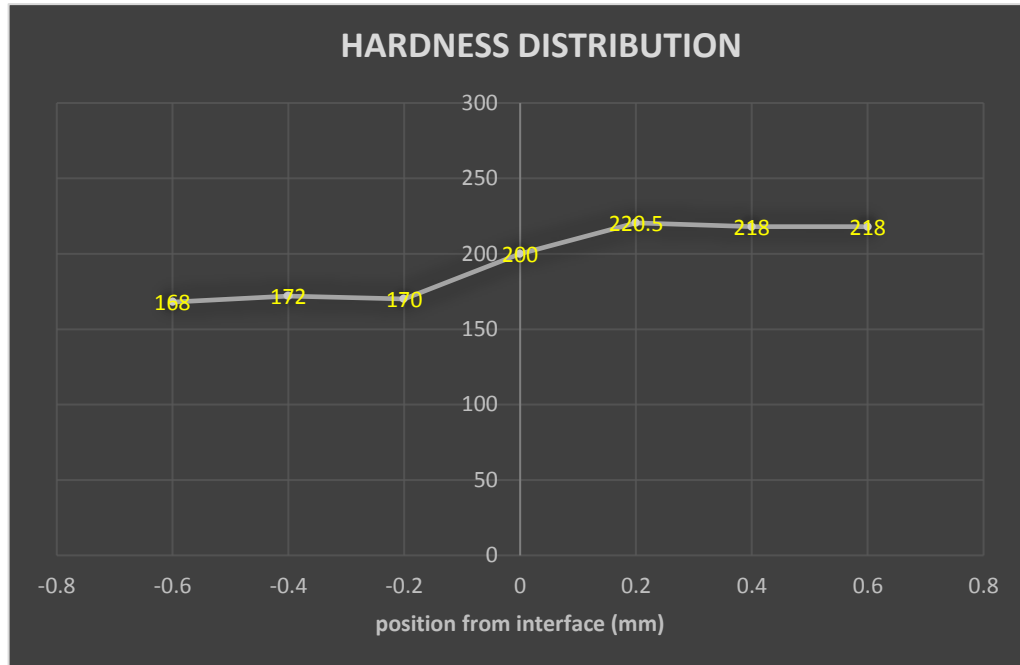
Gambar: Foto Struktur mikro logam las nilai heat input 3.58 kJ/mm



Gambar: Grafik nilai kekerasan Heat input 2.24 kJ/mm



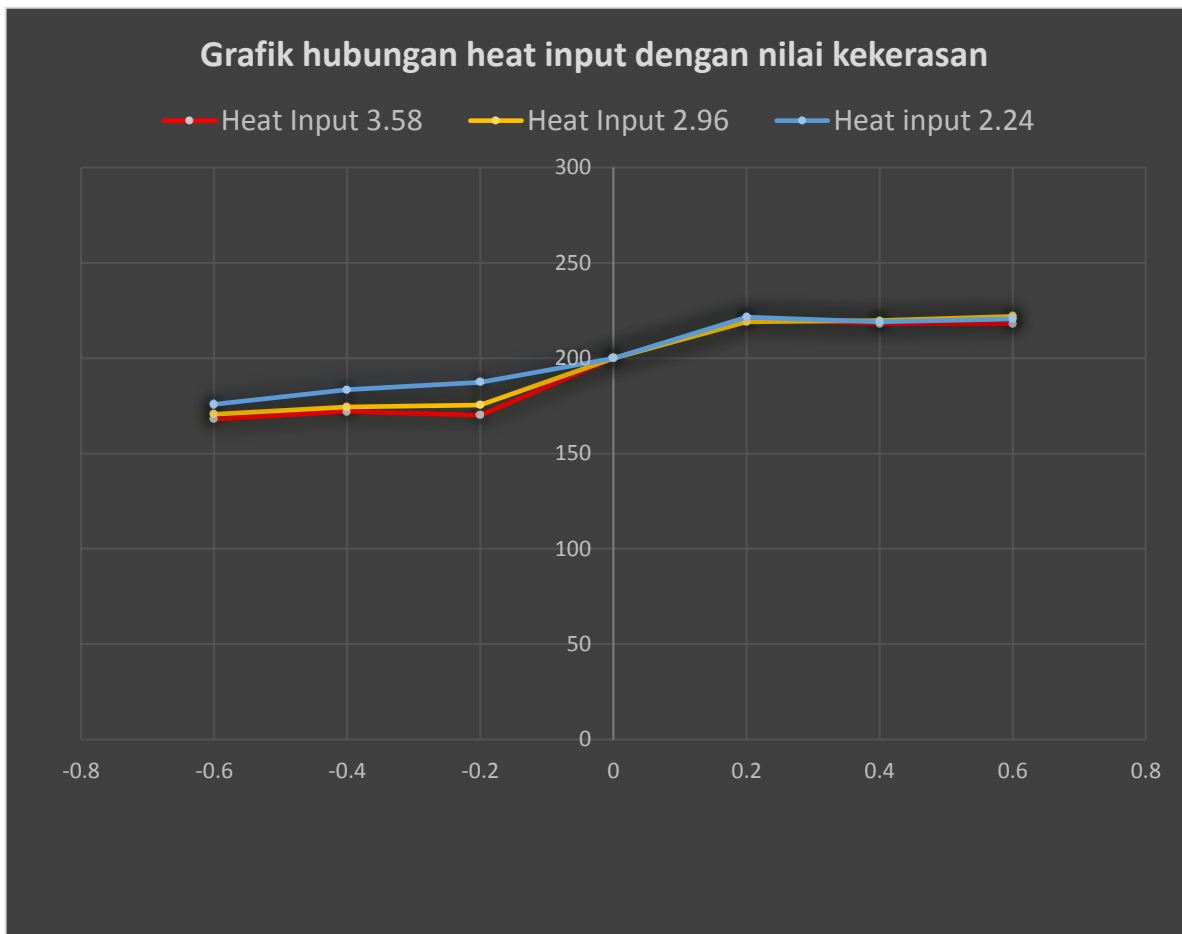
Gambar: Grafik nilai kekerasan Heat input 2.96 kJ/mm



Gambar: Grafik uji kekerasan nilai heat input 3.58 kJ/mm

Tabel: hubungan heat input dengan struktur mikro dan kekerasan

Heat input (Kj/mm)	Struktur Mikro	Angka Kekerasan	
		Rata rata (VHN)	
2.24	Butiran kasar	Weld Metal	Base Metal
		170.7	219
2.96	Butiran sedang	173.7	220
3.58	Butiran halus	183.9	220



Gambar: Grafik perbandingan masing masing heat input dengan nilai kekerasan